ผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อสีของน้ำกะทิ
Effect of Thermal Processing on the Color of Coconut Milk

จันทิมา ภูงามเงิน (Chanthima Phungamngoen)[1]*
นงเยาว์ ชูสุข (Nongyao Choosuk)[2]
ธีรวรรณ สุวรรณ์ (Teerawan Suwan)[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะในการให้ความร้อนต่อสีของน้ำกะทิที่มีไขมันร้อยละ 20 โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-130 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20-100 นาที โดยวิเคราะห์ค่าสี ในระบบ Hunter *L a b* ค่า non-enzymatic browning index (NEBI) และปริมาณ 5-hydroxymethyfurfural (HMF) ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นมีผลทำให้น้ำกะทิมีสีเข้มมากขึ้น การให้อุณหภูมิสูง (มากกว่า 100 องศาเซลเซียส) ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและมีผลให้ค่าความสว่าง (*L*) ต่ำลง ส่วนค่าสีแดง (*a*) และค่าสีเหลือง (*b*) มีค่าสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับค่า NEBI และปริมาณ HMF การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำกะทิสำเร็จรูป โดยใช้วิธี Response surface พบว่า ในกระบวนการผลิตน้ำกะทิสามารถฆ่าเชื้อได้ที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที

Abstract

The aim of this work was to study the effect of sterilization on the color of coconut milk containing 20% fat content at various temperatures (100-130°C) and times (20-100 min). The parameters of this study on color quality of coconut milk were Hunter *L a b*, non-enzymatic browning index (NEBI) and 5-nydroxymethyfurfural (HMF). The results show that higher temperature and longer time of sterilization result in higher browning color of coconut milk. The sterilization (>100°C) caused non-enzymatic browning reactions leading to lower lightness value (*L*) and higher redness (*a*) and yellowness values (*b*). These results were accordant to the change of NEBI and HMF to optimize the thermal processing of coconut milk. The response surface methodology (RSM) was used and the result showed that the optimum sterilization was 100-105°C for 50 min.

คำสำคัญ: น้ำกะทิ, ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกิดจากเอนไซม์, กระบวนการให้ความร้อน
Keywords: Coconut Milk, non-enzymatic browning, Thermal processing

[1] *อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*
[2] *อาจารย์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*
** Corresponding author, e-mail: chanthimap@kmutnb.ac.th*

บทนำ

น้ำกะทิเป็นที่นิยมบริโภคมากในแถบเอเชียแปซิฟิก ใช้เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นในอาหารคาวหวาน การบริโภคน้ำกะทินอกเหนือจากการบริโภคสดได้มีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น น้ำกะทิบรรจุกล่อง UHT (ultra high temperature) เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น น้ำกะทิจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) มีค่า pH ประมาณ 6 ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำประมาณ 50% ไขมัน 34% โปรตีน 3.5% และอื่นๆ 12.5% (Gonzalez et al., 1990) มีลักษณะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water) กระบวนการผลิตน้ำกะทิจึงต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อสูงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีคุณภาพต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากไขมันมีผลทำให้ค่าความคงตัวของอาหารลดลง (Simuang et al., 2004) และการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองไม่เป็นที่ยอมรับ

การผลิตในระดับอุตสาหกรรมมักนำเนื้อมะพร้าวมาคั้น อาจมีการเติมหรือไม่เติมน้ำก็ได้ แล้วปรับไขมันให้ได้ตามมาตรฐานกะทิสำเร็จรูป (มอก. 582, 2528) โดยกำหนดสัดส่วนไขมันในน้ำกะทิต้องไม่น้อยกว่า 20% จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่ระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70-80°C นาน 1-2 นาที เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำกะทิบางส่วน และทำลายเอนไซม์ไลเปส ป้องกันการย่อยสลายไขมันในน้ำกะทิซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน เติมสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer หรือ emulsifier) เช่น Tween 60 ร่วมกับ CMC (Simuang et al., 2004 และ Chiewchan et al., 2005) เพื่อป้องกันการแยกชั้นของน้ำกะทิ แล้วผ่านกระบวนการโฮโมจิไนส์เพื่อลดขนาดอนุภาคไขมันให้มีขนาด 0.0013-0.04 มิลลิเมตร (Cheiwchan et al., 2005) และขั้นตอนสุดท้ายคือ การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูง Seow and Gwee (1997) ได้เสนอว่า การฆ่าเชื้อน้ำกะทิที่มีไขมัน 30% และมี CMC 0.15% บรรจุในขวดแก้วขนาด 200 และ 500 มิลลิลิตร ควรใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่ 121°C นาน 60 และ 70 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้ จันทิมา และคณะ (2546) and Cheiwchan et al. (2005) รายงานว่า การฆ่าเชื้อน้ำกะทิไขมันสูง 30% บรรจุกระป๋องขนาด 307x409 ให้มีคุณภาพดี และมีความปลอดภัย ควรให้กระบวนการฆ่าเชื้อมีค่า F_0=5 นาที ซึ่งจะเห็นว่าในกระบวนการผลิตน้ำกะทิไขมันสูงสำเร็จรูปต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อสูงและเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ในระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองและไม่เป็นที่ยอมรับ

สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสีของผลิตภัณฑ์น้ำกะทิ (จันทิมา, 2546) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อสีของน้ำกะทิ เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำกะทิไขมันสูงสำเร็จรูปที่มีคุณภาพสูง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่างน้ำกะทิ

นำเนื้อมะพร้าวมาคั้นแบบไม่เติมน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบกึ่งอัตโนมัติ วิเคราะห์ปริมาณไขมันในน้ำกะทิเริ่มต้นโดย Rose-Gottlieb method (AOAC, 1990) จากการทดสอบพบว่าน้ำกะทิไม่เติมน้ำมีสัดส่วนไขมันเฉลี่ยมากกว่า 35% ปรับสัดส่วนของไขมันด้วยน้ำกลั่นให้ได้สัดส่วนไขมันที่ระดับ 20% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (มอก. 582, 2528) จากนั้นเติมสารเพิ่มความคงตัวที่ทำให้น้ำกะทิมีความคงตัวสูง โดยใช้ CMC : Montanox 60 อัตราส่วน 0.6:0.4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (Simuang et al., 2004) จากนั้นนำไปกวนและให้ความร้อนด้วย hot plate stirrer จนอุณหภูมิถึง 70°C นาน 1 นาที เพื่อทำลายเอนไซม์และจุลินทรีย์บางส่วนที่ปนเปื้อนในน้ำกะทิ และโฮโมจิไนส์ที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (ยี่ห้อ Polytron, รุ่น PT-MR 3100, ประเทศเยอรมัน) ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 5 นาที

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อต่อสีของน้ำกะทิ

ทดสอบสภาวะการฆ่าเชื้อโดยนำน้ำกะทิที่เตรียมได้จากข้อ 1. ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บรรจุในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร อุณหภูมิตัวอย่างเริ่มต้นวัดด้วย thermocouple thermometer (ยี่ห้อ Fluke, รุ่น 54 II, ประเทศจีน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30±1°C ปิดฝาหลอดแล้วนำตัวอย่างให้ความร้อนในอ่างน้ำมัน (oil bath) ที่อุณหภูมิ 100, 110, 120 และ 130°C โดยเบื้องต้นทดสอบเวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิตัวอย่างให้ถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (come up time) ใช้เวลาภายใน 10 นาที สำหรับทุกตัวอย่าง ซึ่งจับเวลาที่ศึกษาหลังจากตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนดนาน 20, 40, 60, 80 และ 100 นาที ตามลำดับ

การวิเคราะห์สีของตัวอย่างน้ำกะทิที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำกะทิในระบบ *Hunter L, a, b*

นำน้ำกะทิตัวอย่างที่เตรียมได้โดยผ่านการให้ความร้อนที่สภาวะต่างๆ นำมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (ยี่ห้อ Hunter Lab, รุ่น Color Flex, ประเทศอเมริกา) โดยบรรจุน้ำกะทิตัวอย่างลงใน cuvette ปริมาตร 3-5 มิลลิลิตร โดยระบบสีที่วัดคือ Hunter (*L, a, b*) ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาทั้ง 3 ค่า โดยค่า *L* (lightness) ค่า *b* แสดงความเป็นสีเหลือง (*+b*) และสีน้ำเงิน (*-b*) ค่า *a* แสดงความเป็นสีเขียว (*+a*) และสีแดง (*-a*) โดยใช้ค่าสีของน้ำกะทิสดเป็นตัวอย่างอ้างอิงในการเปรียบเทียบสีกับน้ำกะทิที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ

การวิเคราะห์ค่า *Non-enzymatic browning index*

นำน้ำกะทิตัวอย่างที่เตรียมได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมเอททิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol 95%) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำไปเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuged (ยี่ห้อ Boeco, รุ่น Rotana C-28, ประเทศเยอรมัน) ที่ความเร็วรอบ 1000g เป็นเวลานาน 15 นาที จากนั้นนำส่วนใสที่ได้จากการเหวี่ยงแยกตะกอนบรรจุใน cuvette ปริมาตร 3-5 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ซึ่งค่าที่ได้คือ non-enzymatic browning index (NEBI) (Rattanathanalerk et al., 2005)

การวิเคราะห์ปริมาณ *5-hydroxymethylfurfural (HMF)*

นำน้ำกะทิตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยใช้ส่วนใสที่ได้จากการเหวี่ยงแยกตะกอนจากขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า non-enzymatic browning index มาปริมาตร 2 มิลลิลิตร บรรจุในหลอดทดลองจากนั้นเติมสาร thiobabituric acid (TBA) 0.025 M ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสาร trichloroacetic acid (TCA) 12% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 2 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน (water bath) (ยี่ห้อ Memmert, รุ่น WB14, ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 40°C นาน 50 นาที จากนั้นรอให้ตัวอย่างเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 443 นาโนเมตร หาปริมาณ 5-hydroxymethylfurfural (HMF) โดยเปรียบเทียบกับ calibration curve (Sigma-Aldrich, ประเทศเยอรมัน) โดยค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 0-3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Rattanathanalerk et al., 2005)

การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 4x5 (general full factorial) โดยมี 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ 4 ระดับ (100, 110, 120 และ 130°C) และเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ 5 ระดับ (20, 40, 60, 80 และ 100 นาที) วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของตัวอย่าง, ค่า NEBI (non-enzymatic browning index) และปริมาณ 5-hydroxymethyfurfural (HMF) แบบ one-way

ANOVA กำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนในการเลือกสภาวะ 5% (α = 0.05) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์แบบ response surface ในแต่ละปัจจัยที่ศึกษาดำเนินการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลของสภาวะในการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลส์ต่อค่าสีในระบบ Hunter *L, a, b*

ผลของสภาวะในการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลส์ต่อค่าสี *L*, *a* และ *b* ของน้ำกะทิ แสดงในรูปที่ 1 จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าความสว่าง (*L*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สามารถอธิบายได้ว่าที่เวลาและความร้อนสูงขึ้นน้ำกะทิมีสีที่คล้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Avila and Silva (1999) และ Dolores et al. (2006) ที่ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและการเปลี่ยนแปลงสีในการให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ที่อุณหภูมิ 110-135°C พบว่าค่า L มีแนวโน้มต่ำลงที่ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น

สำหรับผลของความร้อนในระดับสเตอริไลส์ต่อค่าสีแดง (*a*) และค่าเหลือง (*b*) นั้นจะสังเกตเห็นว่าที่ความร้อนสูงขึ้นและเวลานานขึ้นนั้นค่าสี *a* และ *b* มีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เป็นเพราะที่อุณหภูมิของความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้สีของน้ำกะทิเปลี่ยนเป็นสีแดงมากขึ้น (Avila and Silva, 1999) นอกจากนี้แล้วยังเกี่ยวข้องกับเวลาในการฆ่าเชื้อที่เพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C ในผลิตภัณฑ์น้ำกะทิจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (จันทิมา, 2546; สุดารัตน์ และคณะ, 2551) ดังนั้นเมื่อเวลาในการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำกะทิมีค่า *a* และ *b* เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์น้ำกะทิเกิดขึ้นอย่างชัดเจนมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ให้ความร้อนมากกว่า 110°C ขึ้นไป

ผลของสภาวะในการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลส์ต่อค่า non-enzymatic browning index (NEBI) ของน้ำกะทิ

การแปรรูปอาหารด้วยความร้อน พบว่ามีสีน้ำตาลเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning) สำหรับกระบวนการแปรรูปน้ำกะทิสำเร็จรูปส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงสีจะมีสาเหตุจากปฏิกิริยาที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์จะถูกทำลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C ขึ้นไป (Martinez and Whitaker, 1995) ซึ่งเอนไซม์มักถูกทำลายไปตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมน้ำกะทิ โดยผลของอุณหภูมิระดับสเตอริไลส์และเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า non-enzymatic browning index (NEBI) แสดงดังรูปที่ 2

จากผลการทดลอง พบว่า ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่า NEBI ของตัวอย่างน้ำกะทิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามความร้อนในระดับสเตอริไลส์ที่ 100, 110, 120, และ 130 องศาเซลเซียส และเวลาในการฆ่าเชื้อนาน 20, 40, 60, 80 และ 100 นาที ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำกะทิมีไนโตรเจนและโปรตีนเป็นองค์ประกอบ (Gonzalez et al., 1990) ทำให้การเกิดสารสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เกิดได้ โดยจะเกิดเร็วหากมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Garza et al. (1999), Ibarz et al. (1999) และ Chutintrasri and Noomhorm (2005) ที่ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning) ในน้ำผลไม้ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Rattanathanalerk et al. (2005) ที่พบว่า สภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อน้ำผักผลไม้ในระดับสเตอริไลส์มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ คือ ในสภาวะการฆ่าเชื้อที่ใช้อุณหภูมิที่สูง ณ เวลาเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น

ผลของสภาวะในการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลส์ต่อปริมาณ 5- hydroxymethyfurfural (HMF)

จากผลการศึกษา พบว่าที่ระดับความร้อนต่างๆ และเวลาในการฆ่าเชื้อนานกว่า 60 นาที ขึ้นไป ปริมาณ HMF มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน (รูปที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนที่สูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โมเลกุลของน้ำตาลเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสลายตัวและรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ของน้ำตาล กรดอะมิโน หรือ โปรตีน เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวเป็นเวลานานจะเกิดปฏิกิริยา pyrolysis ซึ่งทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไหม้ (Sapers, 1993) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ibarz et al. (1999) และ Garza et al. (1999) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ของน้ำผลไม้ที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) 11°Brix ระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 80-98°C ซึ่งรายงานว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณ HMF มีค่าสูงขึ้นด้วย การเกิด HMF จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการให้ความร้อน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ HMF นั้นเกิดจากการสูญเสียน้ำตาลซูโครส ปฏิกิริยา maillard และปฏิกิริยา sucrose hydrolysis โดย HMF จะเพิ่มขึ้นไปตามสภาวะของอุณหภูมิ (Sapers, 1993)

การหาสภาวะในการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลส์ที่เหมาะสม

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำกะทิที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคือ ต้องเป็นของเหลว สีขาวนวลไม่ต่างจากน้ำกะทิสด ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์ของสภาวะที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ คืออุณหภูมิ100-130°C เวลานาน 20-100 นาที มีค่าที่ทำการวิเคราะห์คือ ค่าสี *L a b* ค่า non-enzymatic browning index (NEBI) และ ปริมาณ 5-hydroxymethylfurrural (HMF) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำกะทิที่ได้ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้ response surface methodology (RSM) ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่มีวัตถุประสงค์ในการหาค่าอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม

$$L = -235.16 + 5.91x + 0.20y - 1.99x10^{-3}xy - 5.35x10^{-4}y^2 - 0.03x^2 \quad (1)$$

$$a = 51.67 - 0.91x - 0.14y + 1.46x10^{-3}xy - 1.15x10^{-4}y^2 + 3.89x10^{-3}x^2 \quad (2)$$

$$b = 240.24 - 4.26x - 0.56y + 6.36x10^{-3}xy - 7.26x10^{-4}y^2 + 0.02x^2 \quad (3)$$

$$NEBI = 3.12 - 0.05x - 7.02x10^{-3}y + 5.24x10^{-5}xy + 1.22x10^{-5}y^2 + 2.38x10^{-4}x^2 \quad (4)$$

$$HMF = -41.02 + 0.68x + 0.09y - 7.68x10^{-4}xy + 1.42x10^{-4}y^2 - 2.75x10^{-3}x^2 \quad (5)$$

เมื่อ x คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (°C)
y คือ เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (นาที)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะได้สมการ (1)-(5) เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำกะทิต้องมีค่าสี *L a b* ค่า NEBI และ ปริมาณ HMF ไม่แตกต่างจากน้ำกะทิสด และเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำกะทิสำเร็จรูป (มอก. 582, 2528) โดยกำหนดขอบเขตค่าสูงสุด-ต่ำสุดของค่าคุณรูปที่ยอมรับได้ในตารางที่ 1 ซึ่งทำให้สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำกะทิสำเร็จรูปไขมัน 20% ได้ คือ พื้นที่สีขาว (แสดงในรูปที่ 4) ซึ่งจะเห็นว่าสามารถใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อได้ในช่วงที่กว้างคือ 100-115°C แต่เมื่อพิจารณาเวลาในการฆ่าเชื้อประกอบจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 105°C ยิ่งต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานถึง 60-65 นาที ซึ่งหากพิจารณาตามหลักเศรษฐศาสตร์แล้วจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็น ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้อุณหภูมิระหว่าง 100-105°C นาน 50 นาที ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์น้ำกะทิ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

สรุปผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในน้ำกะทิหลังจากการฆ่าเชื้อที่สภาวะความร้อนระดับสเตอริไลส์ต่างๆ พบว่าความร้อน และเวลาการฆ่าเชื้อในระดับสเตอริไลส์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำกะทิ เมื่อความร้อนและเวลาฆ่าเชื้อนานขึ้นสีของน้ำกะทิจะมีลักษณะที่คล้ำขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่า *L* ที่มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีในเทอมของค่า *a* จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับ ค่า *b* สภาวะในการฆ่าเชื้อที่ระดับสเตอริไลส์ของน้ำกะทิสามารถบ่งบอกได้ว่า การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของค่า NEBI และปริมาณการเกิด HMF ของน้ำกะทิ มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาและความร้อนสูงขึ้น สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี response surface ซึ่งมีค่า L a b ค่า NEBI และปริมาณ HMF ของตัวอย่างเป็นปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำกะทิสำเร็จรูป ควรใช้อุณหภูมิระหว่าง 100-105°C นาน 50 นาที จึงจะมีความเหมาะสมด้านพลังงานในการผลิต อีกทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนเงินทุนประเภททุนนักวิจัยทั่วไป และคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

จันทิมา ภูงามเงิน. 2546. **ผลของความดันในการโฮโมจิไนส์และสภาวะในการฆ่าเชื้อต่อความคงตัวของ น้ำกะทิไขมันสูง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าธนบุรี. 109 หน้า.

จันทิมา ภูงามเงิน, นภาพร เชี่ยวชาญ และ สุวิช ศิริวัฒนโยธิน. 2546. ผลของสารเพิ่มความคงตัวบางชนิดต่อคุณภาพน้ำกะทิไขมันบรรจุกระป๋อง. **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี** ฉบับที่ 3 (กรกฎาคม-กันยายน): หน้า 375-389.

สุดารัตน์ พุทธฤกษ์มงคล, สุจิตรตรา เหมคช, จันทิมา ภูงามเงิน และ เกตินันท์ กิตติพงศ์พิทยา. 2551. ผลของปริมาณไขมันและความร้อนระดับสเตอริไลส์ต่อคุณภาพสีของน้ำกะทิ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ** ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน): หน้า 80-88.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. เลขที่ 582. 2528. **มาตรฐานกะทิสำเร็จรูป.** 11 หน้า.

Association of Official Analytical Chemista (AOAC). 1990. **Official method of analysis.** 15th ed: The Association of Official Agricultural Chemists. Virginia.

Avila, I.M.L.B. and Silva, C.L.M. 1999. Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. **Journal of Food Engineering** 39: pp. 161-166.

Chiewchan, N., Phungamngoen, C. and Siriwattanayothin, S. 2005. Effect of homogenizing pressure and sterilizing condition on quality of canned high fat coconut milk. **Journal of Food Engineering** 73: pp. 38-44.

Chutintrasri, B. and Noomhorm, A. 2005. Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. **Journal of Food Engineering** 75: pp. 1-7.

Dolores R., Loey A.V. and Hendrickx M. 2006. Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strewberry juice. **Journal of Food Engineering** 80: pp. 1-7.

Garza, S., Ibarz, A., Pagan, J. and Giner, J. 1999. Non-enzymatic browning in peach puree during heating. **Food Research International** 32: pp. 335-343.

Gonzalez, O.N., de Leon, S.Y. and Sanchez, P.C. 1990. Coconut as food. Philippines Coconut Research and Development Foundation Inc. pp. 13-40.

Ibarz, A., Pagan, J. and Garza, S. 1999. Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. **Journal of Food Engineering** 39: pp. 415-422.

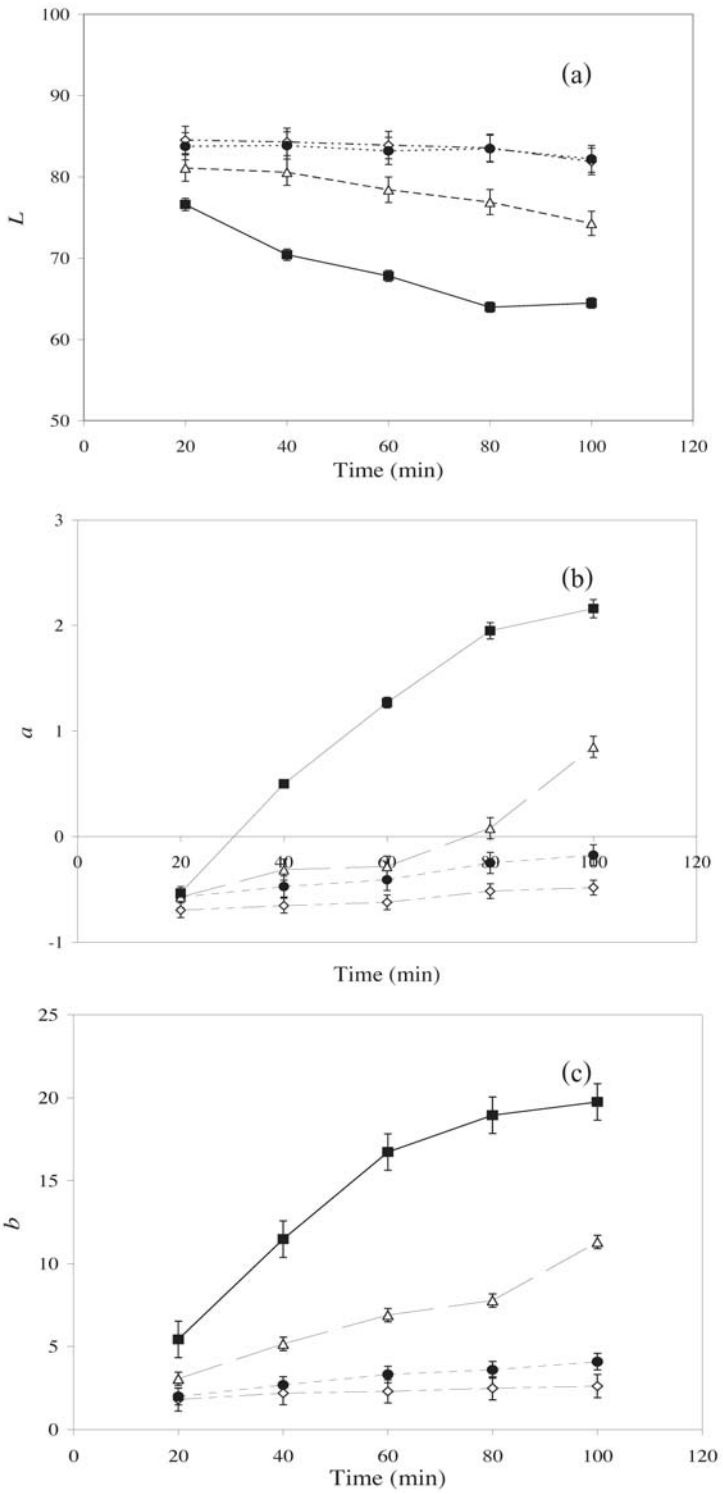
Martinez., M. V., and Whitaker, J. R. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. Trends **in Food Science and Technology** 6(6): pp. 195-200.

Rattanathanalerk, M., Chiewchan, N. and Srichumpoung, W. 2005. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. **Journal of Food Engineering** 66: pp. 259-265.

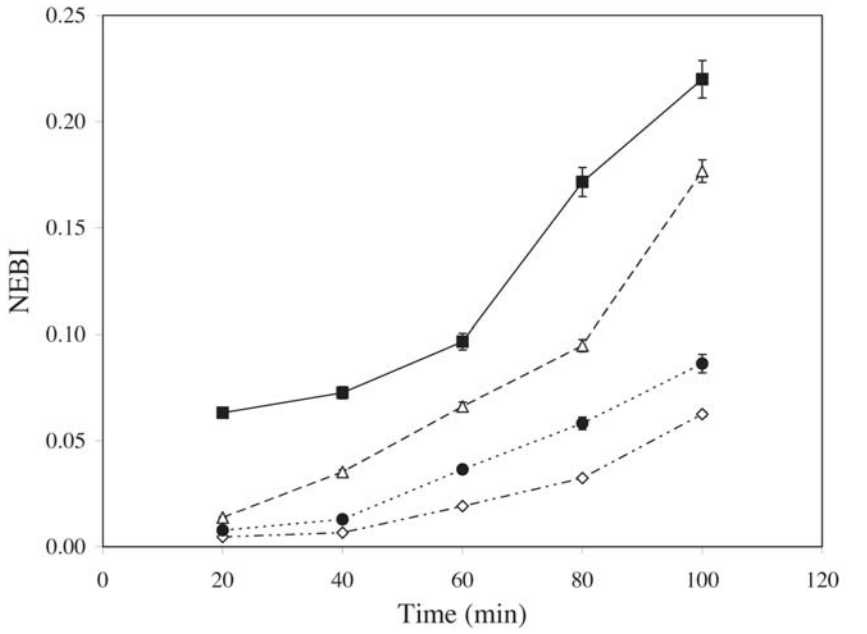
Sapers, G.M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants, and other means. **Food Technology** 47(10): pp. 75-84.

Seow, C.C. and Gwee, C.N. 1997. Review, Coconut milk: Chemistry and technology. **International Journal of Science and Technology** 32 (3): pp. 189-201.

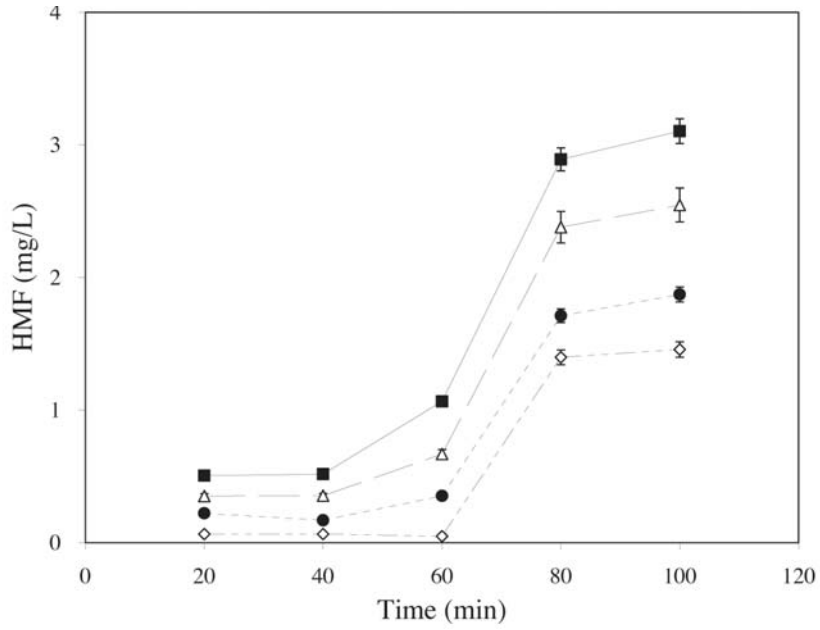
Simuang, J., Chiewchan, N. & Tansakul, A. 2004. Effect of heat treatment and fat content on flow properties of coconut milk. **Journal of Food Engineering** 64: pp. 193-197.



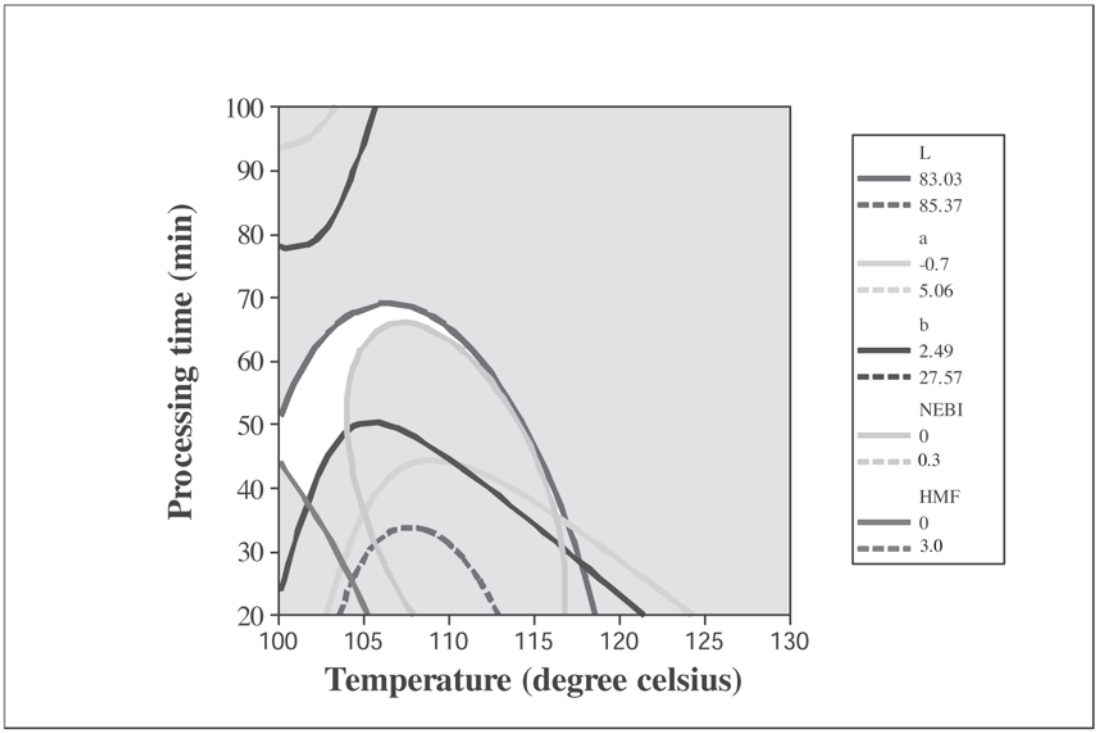
รูปที่ 1. ผลของเวลาในการให้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ ต่อค่าสีที่อุณหภูมิต่างๆ 100 (◇), 110 (●), 120 (Δ) และ 130°C (■) โดย (a) ค่าความสว่าง, (b) ค่าสี *a* และ (c) ค่าสี *b*



รูปที่ 2 . ผลของความร้อนในระดับสเตอริไลส์ต่อค่า Non-enzymatic browning index (NEBI) ที่อุณหภูมิ 100 (◇), 110 (●), 120 (Δ) และ 130°C (■)



รูปที่ 3. ผลของความร้อนในระดับสเตอริไลส์ต่อปริมาณ 5-Hydroxymethyfurfural (HMF) ที่อุณหภูมิ 100 (◇), 110 (●), 120 (Δ) และ 130°C (■)



รูปที่ 4. สภาวะในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตน้ำกะทิ โดยต้องกำหนดขอบเขตสูงสุดของค่าคุณภาพ (▬) และขอบเขตต่ำสุดที่ยอมรับได้ (▬ ▬)

ตารางที่ 1. ขอบเขตสูงสุด-ต่ำสุดของค่าคุณรูปที่ยอมรับได้

ค่าคุณภาพของน้ำกะทิ	ขอบเขตบน (upper limit)	ขอบเขตล่าง (lower limit)
L	85.37	83.03
a	5.06	-0.7
b	27.57	2.49
NEBI	0.3	0
HMF	3.0	0