การศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมและคุณภาพของคาราเมลชนิดที่ 3

Optimization of Caramel Class III Production and Its Properties

ธันย์ชนก ทองตัน (Thanchanok Thongtan)* วรนุช ศรีเจษฎารักข์ (Voranuch Srijesadaruk)**

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 โดยใช้น้ำตาลเป็นวัตถุดิบและสารประกอบแอมโมเนีย 3 ชนิดคือ สารแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมอะซีเตท ที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ ร้อยละ 8 และ 10 (น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำตาลทรายแห้ง) อุณหภูมิ 160°ซ เวลา 30 นาที พบว่าแอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นสารที่ให้คาราเมลมีคุณภาพดีที่สุด และจากการศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟอสเฟต (ร้อยละ 1-10) อุณหภูมิ (160-180°ซ) เวลา (20-30 นาที) และปริมาณน้ำ (ร้อยละ 17-37) ที่ใช้ผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟอสเฟตมีผลต่อกระบวนการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมล โดยออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ใช้อุณหภูมิช่วง 160-180°ซ (A) เวลา 20-30 นาที (B) และความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟตร้อยละ 5-15 (C) พบว่า การผลิตคาราเมลมีปริมาณไนโตรเจนเท่านั้นที่สามารถวิเคราะห์โมเดลได้คือ ปริมาณไนโตรเจน = 1.02+(0.026*A)+(0.050*B)+(0.53*C)+(4.454E-03*A2)+(0.027*B2)-(8.963E-03*C2)+(0.024*A*B)+(6.60E-03*A*C)+(0.028*B*C) และจากการวิเคราะห์คุณภาพพบว่าคาราเมลที่ผลิตได้มาตรฐาน JECFA และใช้สารเร่งปฏิกิริยาน้อยที่สุดนั้น ต้องทำการผลิตคาราเมลโดยใช้อุณหภูมิ 180°ซ เวลา 29.99 นาที และแอมโมเนียมฟอสเฟตร้อยละ 11.30

ABSTRACT

The investigation of caramel class 3 by using sugar as raw material and three types of ammonium (ammonium phosphate, ammonium chloride, and ammonium acetate) in two levels of content 8% and 10% (weight/ sugar weight) at 160°C for 30 minutes were performed. Ammonium phosphate is the factor affected the caramel properties. The conditions of the investigation were ammonium phosphate content (1-10 %) at 160-180°C for 20-30 minutes, the amount of water (17-37 %) to produce caramel class 3. The results revealed that the content of ammonium phosphate had significantly affected the caramel class 3 production ($p \leq 0.05$). Central composite Design (CCD) was used to design the experiment to determine the optimization of caramel class 3. According to the design, The conditions of the study were temperature at 160-180° C (A) time 20-30 minutes (B) and ammonium phosphate 5 - 15 % (C), to produce caramel class 3. The model equation of the nitrogen content was = 1.02+ (0.026*A) +(0.050*B)+(0.53*C)+(4.454E-03*A2)+(0.027*B2)-(8.963E-03*C2)+(0.024*A*B)+(6.60E-03*A*C)+(0.028*B*C). According to quality analysis by JECFA standard and least ammonium phosphate, caramel production conditions would be using at temperature of 180°C for 29.99 minutes and ammonium phosphate concentration of 11.30%

คำสำคัญ : คาราเมลชนิดที่ 3 แอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมอะซีเตท

Key words : Caramel Class III, Ammonium phosphate, Ammonium chloride, Ammonium acetate

---

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

คาราเมลเป็นสารให้สีและกลิ่นรส แก่ผลิตภัณฑ์อาหาร พบทั้งในรูปของเหลวและของแข็ง มีสีเหลืองแก่ไปจนถึงสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ของสารให้สีและกลิ่นรส จะมีการเติมคาราเมล ลงในทั้งอาหารและเครื่องดื่ม หรือใช้ประมาณ 200,000 ตัน/ปี (Kamuf et al., 2003) นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมพวกเครื่องดื่มโคล่า เบียร์ ลูกกวาด ซอส ไวน์ และผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Coffey et al., 1997) สามารถนำมาเคลือบหรือหุ้มลูกกวาด (confectionary) และยาเม็ด มีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก (plasticizer) (Grillo et al., 1999) และเป็นส่วนผสมที่สำคัญในการผลิตเครื่องดื่มกาแฟผสม ประเภทโอเลี้ยง หรือ กาแฟโบราณ (พิศมัย ศรีชาเยช, 2547) ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคาราเมล ได้แก่ วัตถุดิบ อุณหภูมิ เวลา พีเอช และชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา (พิศมัย ศรีชาเยช, 2547 ; Myers and Howell, 1992 ;Umerie and Enebeli, 1996 ; Benhura et al., 1999 ; Umerie, 2000)

ในประเทศไทยจะมีการนำคาราเมลเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีการผลิตคาราเมลในเชิงการค้า เนื่องจากในการผลิตคาราเมลแต่ละครั้ง จะได้คาราเมลที่มีคุณภาพไม่แน่นอน ทำให้คาราเมลที่ใช้ภายในประเทศในขณะนี้ เป็นคาราเมลที่นำเข้าจากต่างประเทศ ถ้าสามารถพัฒนาสภาวะกระบวนการผลิตให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมอาหารต่างๆได้ จะทำให้สามารถลดอัตราการนำเข้าคาราเมลจากต่างประเทศได้เป็นอย่างมาก และในงานวิจัยครั้งนี้มีการใช้วัตถุดิบเป็นน้ำตาลทรายละเอียดหรือฝุ่นน้ำตาลที่เป็นส่วนเหลือ (Waste) จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กทำให้เกิดคาราเมลได้ง่ายและมีความบริสุทธิ์สูงในการผลิตคาราเมล ดังนั้นจึงเป็นการใช้วัตถุดิบที่เป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายที่ไม่ได้มาตรฐาน และมีผลิตคาราเมลต่อทำให้เป็นการเพิ่มมูลค่าการผลิตอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งได้อย่างสูงสุด

จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว จึงสนใจงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ สภาวะการผลิตคาราเมล ซึ่งงานวิจัยของ Coffey et al. (1997) พบว่า มีการใช้คาราเมลชนิดที่ 3 เป็นสารให้สีและกลิ่นรสแก่เบียร์และบิสกิต Kamuf et al. (2003) ได้จำแนกชนิดและปริมาณการใช้คาราเมลในอาหาร พบว่า คาราเมลชนิดที่ 3 เป็นคาราเมลที่นิยมนำมาเป็นสารปรุงแต่งมากที่สุด โดยนำมาเป็นส่วนประกอบของ โดนัทที่เคลือบด้วยกลิ่นรส, ส่วนผสมของขนมปัง ขนมปังที่มีส่วนผสมของธัญพืชหลายชนิด ขนมปังข้าวไรซ์ อาหารเช้าที่มีส่วนประกอบของธัญพืช ส่วนผสมของชินนามอน คุกกี้และบิสกิต ส่วนผสมของมัฟฟิน ส่วนผสมของมัฟฟินกลิ่นกล้วย ส่วนผสมของมัฟฟินกลิ่นชอคโกแลต และส่วนผสมของกลิ่นรสที่ใช้เคลือบขนมขบเคี้ยว จะเห็นได้ว่า คาราเมลชนิดที่ 3 นิยมนำมาเป็นส่วนประกอบของอาหาร ดังนั้นจึงสนใจทำการศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา และสภาวะการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 โดยมีสารประกอบแอมโมเนียเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ที่ทำให้คุณภาพคาราเมลเหมาะสมตามมาตรฐานกำหนด

วิธีการวิจัย

1. ชนิดและช่วงความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อคุณภาพคาราเมลชนิดที่ 3

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา คือ ฝุ่นน้ำตาลทราย

วิเคราะห์หาความชื้น โดยวิธี Vacuum drying อบที่ 70^{o}ซ จนน้ำหนักคงที่

1.2 ทำการศึกษาชนิดของสารเร่งปฏิกิริยา

ใช้สารแอมโนเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมอะซีเตท ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 8 และ 10% (น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำตาลทรายแห้ง) โดยการผลิตคาราเมล ใช้ฝุ่นน้ำตาลทรายขาวมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160^{o}ซ เวลา 30 นาที โดยวาง

แผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Completely Random Design) ใช้การตรวจสอบค่าร้อยละของปริมาณของแข็ง โดยการอบตัวอย่างด้วย vacuum oven ที่อุณหภูมิ 70°ซ ค่าสีตรวจสอบโดยใช้ Spectrophotometer และปริมาณไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ โดยวิธี เจลดาล ในการคัดเลือกชนิดสารเร่งปฏิกิริยา

1.3 การศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ เวลา และ ปริมาณน้ำ ต่อคุณภาพของคาราเมลชนิดที่ 3 ใช้สารเร่งปฏิกิริยาที่ได้จาก ข้อ 1.2 ในการทดลองจะทำการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้ Fractional Factorial Design มี 4 ปัจจัย 3 ระดับ คือ อุณหภูมิ (160-180 °ซ) เวลา (20-30 นาที) ความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา (5-15%) และร้อยละของปริมาณน้ำที่ใช้ (17-37%) ทำการทดลองซ้ำที่จุดกลาง 3 จุดมีการทดลองทั้งหมด 12 การทดลอง ใช้การตรวจสอบค่าร้อยละของปริมาณของแข็ง โดยการอบตัวอย่างด้วย vacuum oven ที่อุณหภูมิ 70 °ซ ค่าสีตรวจสอบโดยใช้ Spectrophotometer และปริมาณไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่โดยวิธี เจลดาล ในการคัดเลือกปัจจัย

2.ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3

2.1 ทำการผลิตคาราเมลช่วงของอุณหภูมิ 160-180°ซ เวลา 20-30 นาที และปัจจัยที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาที่ได้จากข้อ 1.3 โดยออกแบบการทดลองแบบ CCD (Central Composite Design)

2.2 วิเคราะห์ปริมาณของแข็งโดยการอบด้วย vacuum oven ที่อุณหภูมิ 70°ซ, ความเข้มสี โดย Spectrophotometer, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้วิธีเจลดาล และ Ammoniacal nitrogen เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 ตามมาตรฐาน JECFA, 2000

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ผลของชนิดและช่วงความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อคุณภาพคาราเมลชนิดที่ 3

1.1 ผลวิเคราะห์หาความชื้นของน้ำตาลทรายที่ใช้เป็นวัตถุดิบพบว่ามีค่าความชื้น 0.0033%

1.2 ผลของชนิดของสารเร่งปฏิกิริยา โดยใช้สารแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมอะซีเตท ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 8 และ 10% (น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำตาลทรายแห้ง) ในการผลิตคาราเมลมีผลค่าร้อยละของปริมาณของแข็ง ค่าความเข้มสี และปริมาณไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ ดังแสดงตารางที่ 1 ผลการทดลองพบว่าปัจจัยร่วม (ชนิดสารเร่งปฏิกิริยาและระดับความเข้มข้น) มีผลต่อค่าร้อยละของปริมาณของแข็ง ค่าความเข้มสีและปริมาณไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงพิจารณาปัจจัยของการทดลองทั้ง 6 การทดลองพบว่าค่าปริมาณของแข็ง ค่าความเข้มสี และค่าปริมาณไนโตรเจน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเทียบคุณภาพของคาราเมลที่ผลิตได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน JECFA, 2000 พบว่าการใช้สารแอมโมเนียมคลอไรด์ จะทำให้ปริมาณของแข็ง ค่าความเข้มสี และค่าปริมาณไนโตรเจน อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน (JECFA 2000) และการใช้สารแอมโมเนียมฟอสเฟต ทำให้ปริมาณของแข็งและความเข้มสีอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน แต่ปริมาณไนโตรเจนไม่อยู่ในช่วงมาตรฐาน ส่วนสารแอมโมเนียมอะซีเตท มีค่าปริมาณไนโตรเจนเท่านั้นที่อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในการเลือกสารเร่งปฏิกิริยาคือสารแอมโมเนียมฟอสเฟต ที่ไม่เลือกสารแอมโมเนียมคลอไรด์เนื่องจาก ในกระบวนการผลิตนั้นเกิดฟองขึ้น และมีตะกอน ส่วนสารแอมโมเนียมอะซีเตทนั้น เมื่อทำการผลิตคาราเมลแล้ว คาราเมลที่ได้ยังมีกลิ่นฉุนของแอมโมเนียอยู่ สารทั้งสองจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในสภาวะการทดลองดังกล่าว

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาชนิดสารเร่งปฏิกิริยาและระดับความเข้มข้น ต่อคุณสมบัติของคาราเมลชนิดที่ 3

ปัจจัยที่ศึกษา		เกณฑ์การคัดเลือก		
สารเร่งปฏิกิริยา	ความเข้มข้นสารเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ)	ความเข้มสี	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)
Ammonium phosphate	8	73.7452[b]	0.2235[a]	0.9109[d]
	10	72.8153[c]	0.2249[a]	1.1404[c]
Ammonium acetate	8	75.1418[a]	0.0017[c]	0.8241[e]
	10	75.0748[a]	0.0011[c]	1.1072[c]
Ammonium chloride	8	71.7484[d]	0.1114[b]	2.0718[b]
	10	70.8052[e]	0.2209[a]	2.6128[a]

หมายเหตุ [a,b,c,d,e,]ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่างๆ ของคาราเมลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

1.3 ผลการศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ เวลา และ ปริมาณน้ำ ต่อคุณภาพของคาราเมลชนิดที่ 3

ผลการใช้สารแอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นสารเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ เวลา และ ปริมาณน้ำ ต่อคุณภาพของคาราเมลชนิดที่ 3 พบว่ามีค่าร้อยละของปริมาณของแข็ง ค่าความเข้มของสี และปริมาณไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ จากดังแสดงตารางที่ 2 และพบว่าปัจจัยความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟอสเฟตเท่านั้น ที่มีผลต่อค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดังตารางที่ 3 ดังนั้นจึงปัจจัยที่เลือกความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟต และเพื่อให้มีการใช้แอมโมเนียมฟอสเฟต แต่ต้องให้การผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 ในเกณฑ์มาตรฐานจึงต้องเลือกปัจจัยอุณหภูมิและเวลามาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 ต่อไป

2.ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3

2.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 โดยมีปัจจัยในการศึกษาคือ อุณหภูมิ (A) (160-180°ซ) เวลา (B) (20-30 นาที) และความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟต (C) (ร้อยละ 5-15)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของคาราเมลที่ผลิตได้ ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ความเข้มสี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ สารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน ดังแสดงตารางที่ 4 และจากการวิเคราะห์แบบ Response surface methodology (RSM) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert Version 5.0 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่เป็นปัจจัยการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ (A) เวลา (B) และความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟต (C) โดยทำการวิเคราะห์

สมการถดถอยเชิงพหุ เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เฉพาะปริมาณไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงตารางที่ 5 และจากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุและพิจารณาค่า Prob>F มีค่าน้อยกว่า 0.0001 และค่า Lack of fit มีค่า 0.0521 จะเห็นว่าสามารถสร้างสมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับปัจจัยการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพคาราเมลชนิดที่ 3

แผนการทดลอง	ปัจจัยที่ทำการศึกษา				เกณฑ์การคัดเลือก		
	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นแอมโมเนียมฟอสเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	ปริมาของแข็ง (ร้อยละ)	ค่าความเข้มสี	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)
1	160	30	1	37	74.0866	0.0025	0.0768
2	180	30	1	17	82.3185	0.044	0.1035
3	180	20	1	37	72.8051	0.0046	0.0876
4	180	30	10	37	75.7543	0.0632	1.0478
5	180	20	10	17	76.6789	0.0809	1.0772
6	160	20	1	17	77.0679	0.0051	0.0961
7	160	20	10	37	71.8063	0.0008	0.996
8	160	30	10	17	73.3812	0.3361	1.1322
9	170	25	5	27	78.8096	0.0136	0.4965
10	170	25	5	27	79.5758	0.0147	0.4911
11	170	25	5	27	78.6198	0.0118	0.5043

ตารางที่ 3 ค่า significant ที่ได้จากการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ทำการศึกษาต่อค่าร้อยละปริมาณของแข็ง ค่าความเข้มสี และร้อยละปริมาณไนโตรเจน

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ค่า significant		
	ร้อยละปริมาณของแข็ง	ค่าความเข้มสี	ร้อยละปริมาณไนโตรเจน
อุณหภูมิ	0.200	0.509	0.925
เวลา	0.393	0.152	0.526
ความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟต	0.309	0.097	0.000*
ร้อยละปริมาณน้ำ	0.103	0.118	0.239

*ค่า significant ≤ 0.05 แสดงถึงปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อค่าสังเกต

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของคาราเมลชนิดที่ 3 (Ammonia caramel) ทั้ง 17 การทดลอง

แผนการทดลอง	ปัจจัยที่ศึกษา			ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ)	ความเข้มสี	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	ปริมาณสารประกอบแอมโมเนียไนโตรเจน (ร้อยละ)
	A (°ซ)	B (นาที)	C (ร้อยละ)				
1	180.00	20.00	15.00	72.8376	0.029	1.4944	0.3703
2	170.00	16.59	10.00	72.3689	0	1.043	0.7258
3	160.00	20.00	5.00	72.6406	0	0.4887	0.163
4	170.00	33.41	10.00	72.9217	0.4854	1.2051	0.0324
5	170.00	25.00	10.00	74.6228	0.0261	1.0311	0.082
6	180.00	30.00	5.00	77.7011	0.0932	0.5637	0.0056
7	160.00	30.00	5.00	76.7686	0.0032	0.4771	0.0072
8	180.00	20.00	5.00	77.9323	0.0005	0.4602	0.0454
9	170.00	25.00	1.59	77.1181	0.0014	0.151	0.0133
10	170.00	25.00	10.00	74.0899	0.0317	1.0172	0.0717
11	186.82	25.00	10.00	75.2042	0.1053	1.1126	0.0438
12	170.00	25.00	18.41	69.909	0.0629	1.8916	0.5144
13	180.00	30.00	15.00	72.3734	0.1729	1.6895	0.199
14	170.00	25.00	10.00	74.4121	0.0273	1.0159	0.0972
15	160.00	20.00	15.00	72.6172	0.0058	1.4775	0.864
16	160.00	30.00	15.00	70.6315	0.0853	1.5955	0.2827
17	153.18	25.00	10.00	72.3345	0.0082	1.0059	0.3101

A คือ อุณหภูมิ, B คือ เวลา, C คือ ความเข้มข้นสารแอมโมเนียมฟอสเฟต

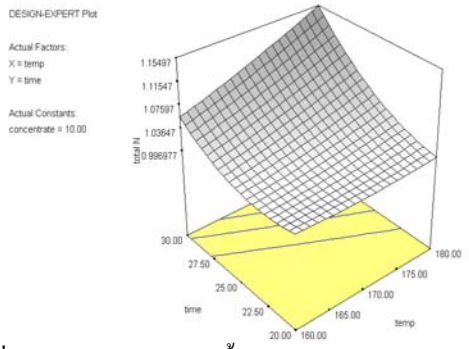
ตารางที่ 5 สมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยศึกษากับค่าตอบสนอง

ปัจจัยที่ศึกษา	Regression coefficients (β)			
	ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ)	ความเข้มของสี	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (ร้อยละ)
Constant	74.31	0.033	1.02	0.086
A	0.95	0.027	0.026	-0.084
B	0.17	0.083	0.050	-0.15
C	-2.10	0.022	0.53	0.17
A^2	-4.750E-03	-4.790E-03	4.454E-03	0.024
B^2	-0.40	0.061	0.027	0.095
C^2	-0.095	-0.013	-8.963E-03	0.054
AB	-0.35	0.019	0.024	0.066
AC	-0.53	2.537E-03	6.600E-03	-0.057
BC	-0.79	0.016	0.028	-0.070
Adjust R^2	0.8135	0.4830	0.9960	0.9000
R^2	0.9184	0.7783	0.9983	0.9562
Model significance	0.0046	0.1053	< 0.0001	0.0006
Lack of fit	0.0479	0.0009	0.0521	0.0173

A คือ อุณหภูมิ, B คือ เวลา, C คือ ความเข้มข้นสารแอมโมเนียมฟอสเฟต

Y(ปริมาณไนโตรเจน) = 1.02+(0.026*A)+(0.050*B) +(0.53*C)+(4.454E-03*A^2)+(0.027*B^2)-(8.963E-03*C^2)+(0.024*A*B)+(6.60E-03*A*C)+(0.028*B*C)

จากสมการดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็น 0.9983 หมายความว่าเมื่อใช้สมการดังกล่าวทำนายปริมาณไนโตรเจนตามสภาวะของตัวแปรอิสระที่เปลี่ยนไปอธิบายปริมาณไนโตรเจนได้ร้อยละ 99.83 และพิจารณาระดับนัยสำคัญของแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟต ดังนั้นสามารถประเมินระดับอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟต เพื่อให้ได้ปริมาณไนโตรเจนที่เหมาะสม และเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาสร้างความสัมพันธ์ของพื้นผิวตอบสนองของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟตดังแสดงรูปที่ 1 พบว่าปริมาณไนโตรเจนจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและเวลาในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 คือ ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามเวลาและความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นและจากการวิเคราะห์คุณภาพพบว่าคาราเมลที่ผลิตได้มาตรฐาน JECFA และใช้สารแอมโมเนียมฟอสเฟตปฏิกิริยาน้อยที่สุดนั้น และได้คาราเมลชนิดที่ 3 ที่ได้มาตรฐานต้องมีกระบวนการผลิตคาราเมลโดยใช้อุณหภูมิ 180°ซ เวลา 29.99 นาที และแอมโมเนียมฟอสเฟตร้อยละ 11.30



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของพื้นผิวตอบสนองของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารแอมโมเนียม-ฟอสเฟตที่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจน

สรุปผลการวิจัย

การผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 จากน้ำตาลสารทำปฏิกิริยาทั้งสามคือ แอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมอะซีเตท ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 และ 10 มีผลทำให้ค่าปริมาณของแข็ง ค่าความเข้มสี และปริมาณไนโตรเจน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแอมโมเนียมฟอสเฟตให้คุณภาพคาราเมลชนิดที่ 3 ที่มีคุณภาพ และเมื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 พบว่า ปัจจัยความเข้มข้นของสารแอมโมเนียมฟอสเฟต มีผลต่อค่าปริมาณไนโตรเจน คือเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ปริมาณไนโตรเจนจะมากขึ้นด้วย จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 ที่อุณหภูมิ 160-180°ซ ระยะเวลาในการผลิต 20-30 นาที และความเข้มข้นสารแอมโมเนียมฟอสเฟตร้อยละ 5-15 (น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำตาลทรายแห้ง) สามารถวิเคราะห์แบบจำลองของปริมาณไนโตรเจนได้ดังนี้

ปริมาณไนโตรเจน

$=1.02+(0.026*A)+(0.050*B)+(0.53*C)+(4.454E-03*A^2)+(0.027*B^2)-(8.963E-03*C^2)$

$+(0.024*A*B)+(6.60E-03*A*C)+(0.028*B*C)$

จากแบบจำลององปริมาณไนโตรเจน มีค่า Lack of fit เป็น 0.0521 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็น 0.9983 ที่นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการหาสภาวะที่เหมาะในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 ที่ได้มาตรฐานและใช้สารแอมโมเนียมฟอสเฟตปฏิกิริยาน้อยที่สุดต้องมีกระบวนการผลิตคาราเมลโดยใช้อุณหภูมิ 180°ซ เวลา 29.99 นาที และแอมโมเนียมฟอสเฟตร้อยละ 11.30

ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาราเมลชนิดที่ 3 มาวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับคาราเมลเชิงการค้า
2. ควรทำการศึกษาการนำคาราเมลชนิดที่ 3 ที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ตามคุณภาพของคาราเมลชนิดที่ 3

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว : หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่นและภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

พิสมัย ศรีชาเยช. 2547. ผลของสภาวะการผลิตและกระบวนการให้ความร้อนต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของคาราเมล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Benhura MAN, Mbuya N. and Machirori E. 1999. Facile formation of caramel colours using the polysaccharide material that is extracted from the fruit of Azanza garckeana. *Journal of Food Chemistry*. 65:303-307.

Coffey JS, Nursten HE, Ames JM and Castle L. 1997. A liquid chromatographic method for the estimation of Class III caramel added to foods. *Journal of Food Chemistry*. Vol. 58, No. 3, 259-267.

Grillo SM, Saraceni K and Kelley JA.. 1999. Method of coating and edible substrate with sugar/syrup or sugarless solutions containing dry colour concentrate. US Patent Issue on March 16, 1999. ค้นเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2550. จาก http://www.patent storm.us/patents/5882707.html

[JECFA]. 2000. Caramel Colours. Guide to JECFA Specifecations. Food and Nutirtion paper 52 Add. 8.

Kamuf W, Nixon A, Parker O and Burnum GC. 2003. Overview of Caramel Colors. *Cereal Foods World*. March-April, Vol.48 No.2:64-69.

Myers DV and Howell JC. 1992. Characterization and Specifications of caramel colours : An overview. *Food and Chemical Toxicology*. Vol. 30, No. 5, 359-363

Umerie SC. 2000. Caramel production from saps of African oil palm (Elaeis guineensis) and wine palm (Raphia hookeri) trees. *Journal of Bioresource Technology*. 75:167-169.

Umerie SC and Enebeli JN. 1996. Malt Caramel from Tubers of *Cyperus esculentus* in Short Communication. *Journal of Bioresource Technology*. 57:215-216.