

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแครอทแผ่น โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง

Optimization of sliced carrot drying using response surface methodology

น้ำฝน ไชยลังกา¹ นักรบ นาคประสม¹ และ ฤทธิชัย อัสวราชันย์^{1*}

Namphon Chailungka,¹ Nukrob Narkpasom¹ and Rittichai Assawarachan^{1*}

บทคัดย่อ

ผลของปัจจัยของการเตรียม (ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกและเวลาในการแช่กรดแอสคอร์บิก) และระดับกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนค่าสีโดยรวมของแครอทแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟอบแห้งแครอทแผ่นจากความชื้นเริ่มต้น 90.24 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก เหลือความชื้น 10.23 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ด้วยคลื่นไมโครเวฟ ใช้เวลาประมาณ 4.3-8.0 นาที โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทแผ่น (ความหนาเฉลี่ยประมาณ 1.0 ± 0.03 มิลลิเมตร) ด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ จากผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการตอบสนองของปัจจัยสามารถใช้เทคนิคของ Box-Behnken สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งศึกษาในระดับกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่แตกต่างกัน (164, 465 และ 752 วัตต์) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (2, 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก/ปริมาตร) และเวลาที่แช่แครอทแผ่นในกรดแอสคอร์บิก (2, 5 และ 8 นาที) โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทแผ่น คือที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ 425.87 วัตต์ ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก 3.56 เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก/ปริมาตร และเวลาที่แช่ 4.94 นาที เนื่องจากให้ค่าความแตกต่างสีโดยรวมต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.06

คำสำคัญ : แครอทแผ่น การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ วิธีการพื้นผิวตอบสนอง การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken

Abstract

Effect of pre-treatment (ascorbic acid solutions and time) and microwave power on total color difference (ΔE) of dried sliced carrot were carried out experimentally in a laboratory microwave dryer. To reduce moisture content of sliced carrot from $90.24 \pm 0.12\%$ (wb) to $10.23 \pm 0.14\%$ (wb) by microwave drying technique, required drying time was in range of 4.3 - 8.0 min The objective of this study was to investigate the optimum conditions for microwave drying of sliced carrot (1.0 ± 0.03 mm thickness) using statistical experimental design. The results were successfully determined by response surface methodology of Box-Behnken and was used to design the microwave drying of turmeric. Experimental factors effecting the optimum conditions were the carried out at different microwave power levels (164, 465 and 752 W), ascorbic acid solutions (2, 5 and 8% w/v) and time (2, 5 and 8 min). The optimum

¹ สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Food Engineering, Faculty of Engineering and Argo-Industry, MeaJo University, Chiangmai, 50290

* Corresponding author. E-mail: rittichai.assawaracha@gmail.com

drying conditions were found at power level of 425.87 W with 3.56% of ascorbic acid concentration and 4.94 min of time. On the optimized drying conditions, dried sliced carrot presented values with the lowest total color difference (ΔE) of 3.06.

Keywords: sliced carrot, microwave drying, response surface methodology, Box-Behnken design

บทนำ

แครอท (carrot) เป็นพืชล้มลุกประเภทกินหัว นิยมปลูกและรับประทานกันทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย แครอทเป็นพืชที่มีสารอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามินเอ และสารเบต้าแคโรทีนสูง การอบแห้งเป็นหน่วยปฏิบัติการในการแปรรูปอาหาร (unit operation in food processing) ที่นับได้ว่าเก่าแก่และมีความหลากหลายมาก (สัคมณ, 2555) อีกทั้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน เนื่องจากมีค่าความชื้นต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหารได้เป็นอย่างดี (ฤทธิชัย และคณะ, 2554) วิธีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันมักใช้การอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากเป็นวิธีควบคุมการทำงานได้ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ใช้เวลาในการอบแห้งที่นาน จึงส่งผลต่อการเสื่อมคุณภาพและการเสื่อมสลายตัวของสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้ง โดยคลื่นไมโครเวฟจัดเป็นนวัตกรรมการสร้างความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถสร้างความร้อนภายในอาหารหรือวัสดุชีวภาพได้ดี โดยไม่มีผลกระทบ

จากการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการอบแห้ง การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้ง โดยสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้ง และสามารถรักษาคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งให้มีค่าใกล้เคียงกับสีของผลิตภัณฑ์สด (ฤทธิชัย, 2554) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่สำคัญของการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ คือการที่ตัวอย่างได้รับความร้อนมากเกินไปจนส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี ในขณะที่คุณภาพสีของผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคอย่างมาก โดย 40 เปอร์เซ็นต์ของผู้บริโภคจะใช้สีของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งในการตัดสินใจซื้อ รายงานวิจัยของ Doymaz (2008) ได้อธิบายผลกระทบของการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการชุบกรดแอสคอร์บิกก่อนนำไปอบแห้งจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีได้ดี เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสีของผักและผลไม้อบแห้งโดยการรีดิวซ์ออกซิโทควิโนน ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเตรียมตัวอย่างเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงสีในการอบแห้งผักและผลไม้ เช่น Rocha *et al.* (1993) ศึกษาผลของการลวกและการปรับสภาพด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวต่ออัตรา

การอบแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ในการอบแห้งใบกะเพรา ซึ่งพบว่าการลวกและการปรับสภาพด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวจะช่วยเร่งอัตราการอบแห้งได้กว่าใบกะเพราสด ช่วยรักษาสี และตรวจปริมาณคลอโรฟิลล์ที่คงเหลือได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ วรณารัตน์ และคณะ (2554) ซึ่งศึกษาผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยการลวกไอน้ำที่อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1-4 นาที การยับยั้งค่ากิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในมังคุด พบว่าการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในมังคุด อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพสีในระหว่างการอบแห้งผักและผลไม้ โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology, RSM) และการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken (BBD) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการผลิตและเงื่อนไขในการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken จะมีจำนวนครั้งในการทดลองที่ลดลง รวมถึงมีต้นทุนที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบ central composite design (CCD) (สมเกียรติ และ ภูมิพันธ์, 2554; ภณิกษา และคณะ, 2555; Lee *et al.*, 2006; Pérez-Francisco *et al.*, 2008) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในการเตรียมตัวอย่างโดยการชุบในกรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นและเวลาต่างๆ และผลของระดับพลังงานของคลื่น

ไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงสีและหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง ด้วยวิธี RSM

วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดลอง

นำแครอทปลอกเปลือกและหั่นเป็นแผ่นให้มีความหนา 1 ± 0.03 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (Wasino model CE03) เพื่อไล่น้ำออกจากนั้นนำไปเก็บรักษาในตู้เย็น (Haier model HP-921F) ที่อุณหภูมิ 4 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แครอทแผ่นเกิดการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุลซึ่งเป็นแนวทางเดียวกับงานวิจัยของ Dadal *et al.* (2007) และ Özbek and Dadal (2007) วิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้น โดยนำแครอทแผ่นจำนวน 10 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 ออนซ์ นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert model 500/108I) ที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (AOAC, 2005) โดยความชื้นเริ่มต้นของแครอทแผ่นมีค่าเท่ากับ 90.24 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก เครื่องอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้พัฒนาโดยสาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยติดตั้งระบบใบกวนคลื่น (mode stirring) ที่เตาไมโครเวฟขนาด 800 วัตต์ (Panasonic model INN-S235WF) ศึกษาการอบแห้งแครอทแผ่นจำนวน 100 กรัม ที่ถูกเตรียมโดยการแช่ในกรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นและเวลาที่ใช้แช่แตกต่างกัน ได้แก่ 2, 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์

น้ำหนัก/ปริมาตร และ 2, 5 และ 8 นาที่ ตามลำดับ จากนั้นนำไปอบแห้งที่ระดับกำลังงานที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 164, 465 และ 752 วัตต์ จนเหลือความชื้นสุดท้าย 10.23 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก จากนั้นนำแครอทแผ่นอบแห้งไปตรวจวัดสีด้วยเครื่อง spectrophotometer (Hunter Lab model MiniScan XE Plus) เพื่อวัดค่าความสว่าง/ความมืด (lightness/darkness, L^*) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (redness/greenness, a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (yellowness/blueness, b^*) และคำนวณค่าความแตกต่างสีโดยรวม (total color difference, ΔE) โดยมีสมการความสัมพันธ์ตามที่แสดงในสมการ (1) (Therdthai and Zhou, 2009; Vega-Gálvez *et al.*, 2009)

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

เมื่อ L^* , a^* และ b^* คือค่าพารามิเตอร์สีของแครอทแผ่นอบแห้ง และ L_0^* , a_0^* และ b_0^* คือค่าพารามิเตอร์สีของแครอทแผ่นสด

การออกแบบการทดลองและการหาสภาวะที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้อาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) และการออกแบบการทดลองแบบ Box - Behken สำหรับ 3 ปัจจัยจำนวนทั้งสิ้น 17 สิ่งทดลอง โดยเป็นการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ซึ่งทำซ้ำจำนวน 5 ซ้ำ ผลการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลางจะถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความเหมาะสมของรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้แสดงดังสมการ (2)

(สมเกียรติ และภูมิรินทร์, 2554; ภณิกษา และคณะ, 2555; Erbay and Filiz, 2009)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^n \beta_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

เมื่อ β_0 , β_i , β_{ii} , β_{ij} คือค่าสัมประสิทธิ์ X_i คือตัวแปรอิสระปัจจัยที่ต้องการศึกษาในการอบแห้งแครอทแผ่น ประกอบไปด้วยระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ (X_1) ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก (X_2) และเวลาที่ใช้แช่แครอทแผ่น (X_3) โดยกำหนดค่าของตัวแปรต้นดังนี้ X_1 มีค่าเท่ากับ 164, 465 และ 752 วัตต์ X_2 มีค่าเท่ากับ 2, 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์ และ X_3 มีค่าเท่ากับ 2, 5 และ 8 นาที่ ซึ่งค่าตัวแปรต้นเหล่านี้ได้ทำการศึกษาเบื้องต้น (preliminary) และตัวแปรตามที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (Y) Table 1 แสดงรายละเอียดของตัวแปรต้นที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การเปลี่ยนแปลงสีในระหว่างการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับเวลา (time-dependent process) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะการอบแห้ง เช่น ระดับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และเวลาที่ใช้ในการแช่ โดยค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE) เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของแครอทแผ่นโดยเปรียบเทียบกับค่าสีของแครอทแผ่นสด (เมื่อแครอทแผ่นสดมีค่า $L_0^* = 34.44$, $a_0^* = 21.48$ และ $b_0^* = 16.80$)

Table 1 Independent variables used in the optimization study.

independent variable	code	coded variable		
		-1	0	+1
Power (W)	X_1	164	465	752
Ascorbic acid conc. (%)	X_2	2	5	8
Time (min)	X_3	2	5	8

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี RSM โดยใช้การทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อเลือก ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ ความเข้มข้นของ กรดแอสคอร์บิก และเวลาที่ใช้ในการแช่ที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทแผ่นที่ทำให้มีค่า ΔE น้อยที่สุด Table 2 แสดงผลการวัดค่าสีของแครอทแผ่นอบแห้งที่ สภาวะการเตรียมและการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ สภาวะต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าค่า ΔE มีค่า อยู่ในช่วง 1.432 - 11.1284 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของปัจจัยที่ต้องการศึกษากับค่าการตอบสนองของ ปัจจัยสามารถวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองการถดถอย ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่าแบบจำลอง quadratic มีความเหมาะสมโดยพิจารณาจากค่า p-value ($p < 0.5$) lack of fit ($p \geq 0.05$) และค่าทางสถิติ (SD และ PRESS มีค่าต่ำในขณะที่ค่า R^2 มีค่าสูง) ประกอบกันเมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ ปัจจัยที่ศึกษาคือระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และเวลาที่ใช้

ในการแช่ กับค่าการตอบสนองของค่าความแตกต่าง สีโดยรวม (ค่า ΔE)

Figure 1 - 2 แสดงความสัมพันธ์ของสภาวะการ เตรียม (ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และเวลาที่ใช้ ในการแช่) และระดับกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟต่อค่า ความแตกต่างสีโดยรวม (ค่า ΔE) ในรูปแบบของภาพ 3 มิติ (3D) และ ภาพ contour Figure 1 (a-c) แสดงภาพ 3 มิติ (3D) ที่ได้จากการทดลองและ Figure 2 (a-c) พบว่า เมื่อเพิ่มหรือลดระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟความ เข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และเวลาที่ใช้ในการแช่ แครอทแผ่นในกรดแอสคอร์บิกจะทำให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้น ผลของระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการ อบแห้งแครอทแผ่นที่ระดับพลังงาน 752 วัตต์ และ 164 วัตต์ ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่สูงสุดและต่ำสุดจะให้ ค่า ΔE เพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากที่ระดับพลังงาน 752 วัตต์ คลื่นไมโครเวฟจะเหนียว ทำให้เกิดพลังงานความร้อน ปริมาณมากในการอบแห้งจึงมีอัตราการอบแห้งที่ รวดเร็ว

Table 2 Experimental data for the response surface analysis.

run	coded			responses
	X_1	X_2	X_3	Y
1	164 (-1)	2 (-1)	5 (0)	6.2693
2	752 (+1)	2 (-1)	5 (0)	9.4400
3	164 (-1)	8 (+1)	5 (0)	11.1284
4	752 (+1)	8 (+1)	5 (0)	8.0713
5	164 (-1)	5 (0)	2 (-1)	9.0862
6	752 (+1)	5 (0)	2 (-1)	11.0283
7	164 (-1)	5 (0)	8 (+1)	7.2926
8	752 (+1)	5 (0)	8 (+1)	10.1071
9	465 (0)	2 (-1)	2 (-1)	4.2893
10	465 (0)	8 (+1)	2 (-1)	4.1624
11	465 (0)	2 (-1)	8 (+1)	5.9480
12	465 (0)	8 (+1)	8 (+1)	4.0379
13	465 (0)	5 (0)	5 (0)	1.4320
14	465 (0)	5 (0)	5 (0)	4.3239
15	465 (0)	5 (0)	5 (0)	3.3601
16	465 (0)	5 (0)	5 (0)	3.0244
17	465 (0)	5 (0)	5 (0)	3.5610

แต่เนื่องจากแคโรทแผ่นได้รับพลังงานที่สูงเกินไป ส่งผลให้ได้รับความร้อนในปริมาณมาก และเข้าไปทำลายรงควัตถุหรือสารให้สีในแคโรทแผ่น ในขณะที่การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 164 วัตต์ เป็นระดับพลังงานต่ำเกินไป ทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งนาน ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียรงควัตถุหรือสารให้สีในแคโรทแผ่นเช่นกัน ดังนั้นการอบแห้งแคโรทแผ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟจะต้องมีระดับพลังงานที่เหมาะสม จากการกำหนด

เงื่อนไขเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่าที่ระดับ 425.87 วัตต์ สามารถลดอัตราการเปลี่ยนแปลงสีของแคโรทแผ่นอบแห้งได้เหมาะสม ในขณะที่การแช่แคโรทในกรดแอสคอร์บิก จะสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีและเกิดสีน้ำตาลได้ดี เนื่องจากเป็นกรดที่มีสมบัติเป็น chelating agent ซึ่งจะไป chelating copper ใน active site ของเอนไซม์ พอลิฟีนอลซึ่งจะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลได้ (Son *et al.*, 2001)

แต่การใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณสูงเกินไปอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้น เนื่องจากเกิด oxidative degradation ของกรดแอสคอร์บิก และทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิล ผ่านเข้าทางแอลดอลคอนเดนเซชัน (aldol condensation) หรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้ (นิธิยา, 2549) ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้จากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่าความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสม คือ 3.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถลดอัตราการเปลี่ยนแปลงสีของแครอทแผ่นอบแห้งได้เหมาะสม เช่นเดียวกับเวลาที่ใช้ในการแช่แครอทแผ่นในกรดแอสคอร์บิกโดยการแช่แครอทแผ่นเร็วเกินไปจะทำให้ผิวของแครอทแผ่นถูกเคลือบด้วย

กรดแอสคอร์บิกในปริมาณต่ำอาจส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดหรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในขณะแช่แครอทแผ่นในกรดเป็นเวลานานเกินไปจะทำให้แครอทแผ่นได้รับกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นสูง ผลของความเข้มข้นที่สูงเกินไปจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้น ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียรงควัตถุหรือสารให้สีในแครอทแผ่นเช่นกัน ทั้งนี้จากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าเวลาที่ใช้แช่ที่เหมาะสม คือ 4.94 นาที จากการทดลองข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยเป็นสมการการถดถอยได้ โดยแสดงสมการเป็นค่า ΔE ดังแสดงในสมการ (3)

$$Y = 3.14 + 0.61X_1 + 0.18X_2 - 0.150X_3 - 1.56X_1X_2 + 0.22X_1X_3 - 0.45X_2X_3 + 5.18X_1^2 + 0.41X_2^2 + 1.06X_3^2 \quad (3)$$

เมื่อ Y คือ ค่าความแตกต่างสีโดยรวม
 X_1 คือ ระดับกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟ (วัตต์)
 X_2 คือความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก

(เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก/ปริมาตร) และ X_3 คือ เวลาในการแช่กรดแอสคอร์บิก (นาที)

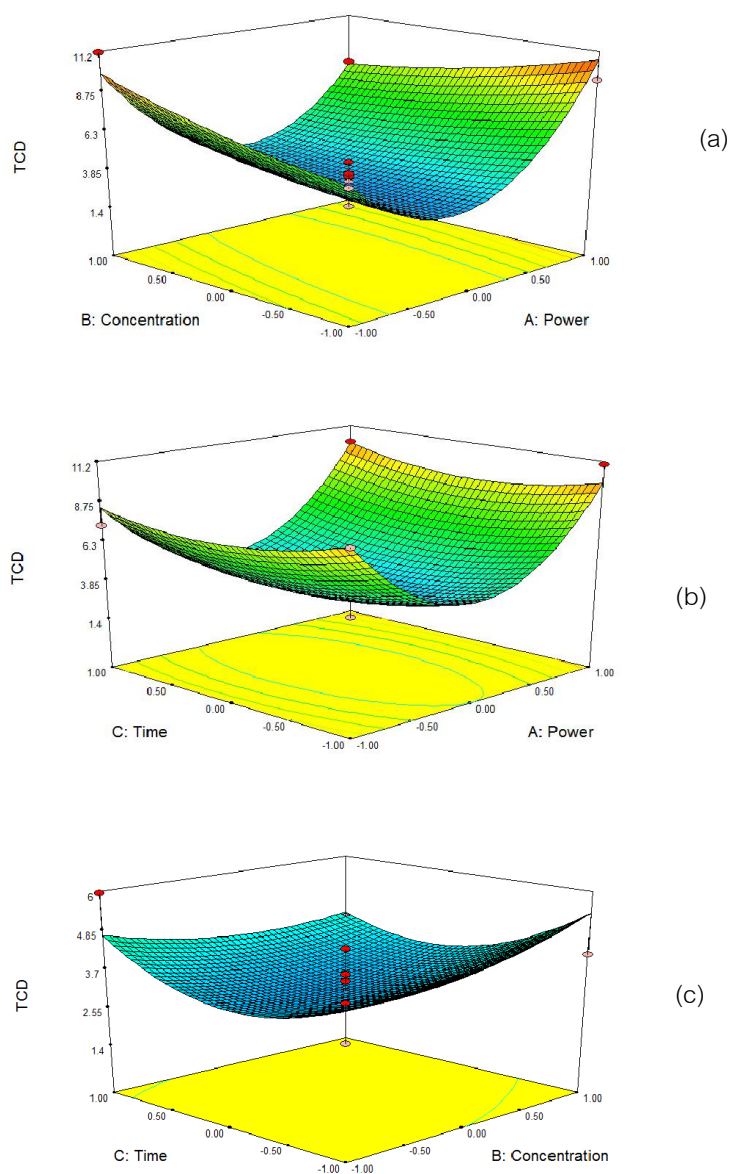


Figure 1 3D plot of total color difference as a function of: (a) power level and ascorbic acid conc. (b) power level and time, (c) ascorbic acid conc. and time.

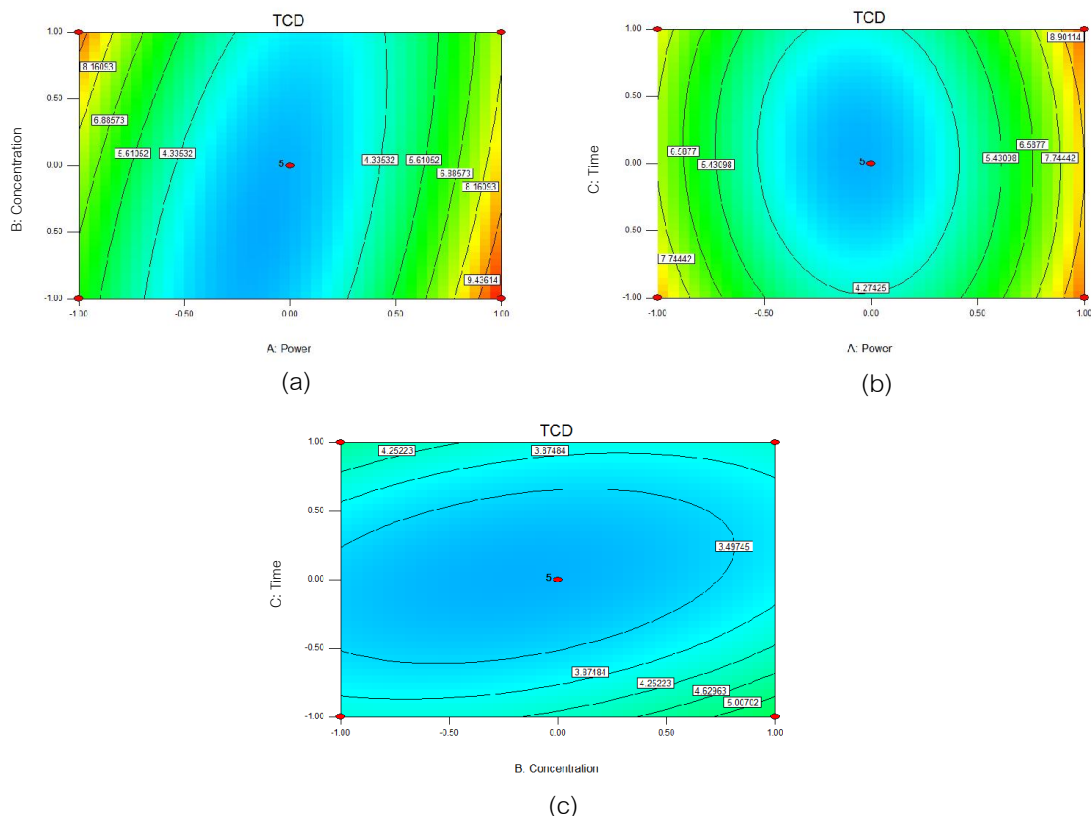


Figure 2 Contour plot of total color difference as a function of: (a) power level and ascorbic acid conc. (b) power level and time, (c) ascorbic acid conc. and time.

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างสีโดยรวมของแครอทอบแห้งโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองและการออกแบบการทดลอง Box-Behnken โดยตัวแปรต้นที่ศึกษาประกอบด้วยระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ใช้

ในการอบแห้ง ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก และเวลาที่ใช้แช่แครอทแผ่นในกรดแอสคอร์บิก ส่วนตัวแปรตามที่ต้องการศึกษาได้แก่ ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE) ผลการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยเป็นสมการการถดถอยตามสมการ

$$Y = 3.14 + 0.61X_1 + 0.18X_2 - 0.150X_3 - 1.56X_1X_2 + 0.22X_1X_3 - 0.45X_2X_3 + 5.18X_1^2 + 0.41X_2^2 + 1.06X_3^2$$

และการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทแผ่น คือที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ 425.87 วัตต์ ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก

3.56 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่แช่ 4.94 นาที เป็นสภาวะเหมาะสมการอบแห้งแครอทแผ่นอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยให้ ΔE ต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.06

เอกสารอ้างอิง

- นิตยา รัตนานพนธ์. 2549. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ภณิกษา วิชยปรีชา, บัญชา ยิ่งงาม และวันดี รังสิวิจิตรประภา. 2555. การหาสภาวะที่เหมาะสมของยาฟีนาสโตไรด์ในรูปแบบโปรนิโอโซมด้วยวิธีตอบสนองของพื้นผิว. น. 105-111. ใน : The 4th Annual Northeast Pharmacy Research Conference of 2012 “ Pharmacy Profession in Harmony” 11-12 กุมภาพันธ์ 2555. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น.
- ฤทธิชัย อัครวราชันย์. 2554. การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. *วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต* 1: 31-42.
- ฤทธิชัย อัครวราชันย์, ภาณุเดช แสงเจริญรัตน์, สุนทร สืบคำ, เทียรณณ์ มั่งมูล และดวงกมล จนนใจ. 2554. จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยลมร้อนของเปลือกทับทิม. *วารสาร สวทท.* 17: 27-34.
- วรรณรัตน์ ลิขุสวัสดิ, อนุวัตร แจ่มชัด และนันท์วัน เทิดไทย. 2554. ผลของการลวกต่อกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในมังคุดและผลของสารละลายซูโครสร่วมกับกรดซิตริกในการถ้ำยไอนมวลงสารระหว่างการอบสไมซิส. น. 508-514. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 1-4 กุมภาพันธ์ 2554. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ.
- สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ และภูมินทร์ แจ่มเชื้อ. 2554. การลดฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์เบ้น์แทน. น. 171-175. ใน: การประชุมวิชาการรายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 20-21 ตุลาคม 2554. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี.
- ลักกมณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis. 18th Ed., Association of official analytical chemists, Washington, DC., USA.
- Dadal, G., D.K. Apar and B. Özbek. 2007. Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technol.* 25: 917-924.
- Doymaz, I. 2008. Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices. *Chem. Eng. Process.* 47: 41-47.
- Erbay, Z. and I. Filiz. 2009. Optimization of hot air drying of olive leaves using response surface methodology. *J. Food Eng.* 91: 533-541.
- Lee, W.C., S. Yusof, N.S.A. Hamid and B.S. Baharin. 2006. Optimizing conditions for hot water extraction of banana juice. *J. Food Eng.* 75: 473-479.
- Özbek, B. and G. Dadali. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *J. Food Eng.* 83: 541-549.
- Pérez-Francisco, J.M., R. Cerecero-Enriquez, I. Andrade-González, J.A. Ragazzo-Sánchez and G. Luna-Solano. 2008. Optimization of vegetal pear drying using response surface methodology. *Drying Technol.* 26: 1401-1405.
- Rocha, T., A. Lebert and C. Marty-Audouin. 1993. Effect of pretreatment and drying conditions rate and colour retention of basil (*Ocimum basilicum*). *LWT.* 26(5): 456-463.
- Son, S.M., K.D. Moon and C.Y. Lee. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chem.* 73: 23-30.
- Therdthai, N. and W. Zhou. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). *J. Food Eng.* 91: 482-489.

Vega-Gálvez, A., K.D. Scala, K. Rodriguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J. López and M. Perez-Won. 2009. Effect of air-drying temperature on physic-chemical properties, antioxidant capacity, color and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum* L. var. Hungarian). *Food Chem.* 117: 647-653.