



การหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นด้วยการระเหยสุญญากาศ โดยใช้วิธีการทางพื้นผิวตอบสนอง

ไผ่แดง ขวัญใจ* และ สุวลี พงอินทร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 9705 1849 อีเมล: paidaeng.kh@up.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.07.010

รับเมื่อ 28 ธันวาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 2 มีนาคม 2564 ตอรับเมื่อ 2 เมษายน 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 27 กรกฎาคม 2565

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

น้ำลูกหว่ามีปริมาณน้ำสูงซึ่งทำให้อายุการเก็บสั้นและเพิ่มต้นทุนในการขนส่ง งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทางพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) ตรวจสอบผลของตัวแปรสภาวะในการทำระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำลูกหว่าเข้มข้น ประเมินคุณภาพของน้ำลูกหว่าเข้มข้นโดยการวิเคราะห์ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความหนืด ค่าสี Hunter L^* a^* b^* และการทดสอบทางประสาทสัมผัสหารูปแบบความเหมาะสม (Fit) ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนองโดยใช้สมการพหุนามกำลังสอง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าทั้งอุณหภูมิ และเวลาในการทำระเหยส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อคุณภาพโดยรวม และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิในการระเหยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า pH ลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เมื่ออุณหภูมิในการระเหยเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างของสี Hunter L^* ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรอุณหภูมิของกระบวนการ ส่วนระยะเวลาในการระเหยส่งผลต่อค่าสี Hunter a^* และ b^* ของน้ำลูกหว่าเข้มข้น ส่วนคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมพบว่า ได้รับอิทธิพลต่อบางคุณลักษณะ สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ คือ ปฏิบัติการระเหยที่อุณหภูมิ 83.58 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที เพื่อให้ได้น้ำลูกหว่าเข้มข้นที่มีคุณภาพเหมาะสม สำหรับการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง ได้นำค่าที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่า ค่าที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทำนาย แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ทำนายคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำลูกหว่าเข้มข้น โดยใช้วิธีการทางพื้นผิวตอบสนองสำหรับหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดีของผลิตภัณฑ์น้ำลูกหว่าเข้มข้น

คำสำคัญ: น้ำผลไม้เข้มข้น น้ำลูกหว่า การระเหยสุญญากาศ วิธีการทางพื้นผิวตอบสนอง อุณหภูมิ เวลา



Optimization of Concentrated Jambolan (*Syzygium cumin*) Juice Production Process by Vacuum Evaporation Using Response Surface Methodology

Paidaeng Khwanchai* and Suwalee Fong-In

Division of Food Science and Technology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 9705 1849, E-mail: paidaeng.kh@up.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.07.010

Received 28 December 2020; Revised 2 March 2021; Accepted 2 April 2021; Published online: 27 July 2022

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Jambolan juice has high water content which limits the storage duration and increases the transportation cost. Response surface methodology (RSM) was used to investigate the effect of the two vacuum evaporating parameters namely temperature and time on the physicochemical properties of concentrated jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) juice. The quality of concentrated jambolan juice was assessed by determining pH, total soluble solids, viscosity, Hunter L^* , a^* , b^* values and hedonic test. The responses as function of independent variables studied were fitted to the second-order polynomial equations. The results indicated that both temperature and time of evaporation significantly ($p < 0.05$) affected the overall quality and acceptability of final product. The pH decreased when evaporating temperature was increased. Total soluble solids and viscosity considerably ($p < 0.05$) increased with increasing evaporating temperature. Hunter L^* value is influenced by temperature while evaporating time affected the Hunter a^* and b^* value of concentrated jambolan juice. The optimum vacuum evaporating process performed at 83.58 °C temperature for 50 minutes time was recommended to provide concentrated jambolan juice with optimum quality. For validation of the models, the experimental values were compared with predicted values to check the adequacy of the models. The experimental values were found to be in agreement with those predicted, thus indicating suitability of the models employed using response surface methodology (RSM) for optimizing the physicochemical properties and sensory qualities of the concentrated jambolan juice product.

Keywords: Concentrated Juice, Jambolan Juice, Vacuum Evaporation, Response Surface Methodology, Temperature, Time

Please cite this article as: P. Khwanchai and S. Fong-In, "Optimization of concentrated Jambolan (*Syzygium cumin*) juice production Process by vacuum evaporation using response surface methodology," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 1, pp. 245–256, Jan.–Mar. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

ลูกหว่า เป็นผลไม้พื้นเมืองชนิดหนึ่งที่มีอยู่ทุกภาคของประเทศไทย มีรูปร่างลักษณะไม้ยืนต้น มีความสูงของต้นสูงประมาณ 15–25 เมตร ส่วนเปลือกต้นค่อนข้างเรียบและมีสีน้ำตาล ชื่อสามัญคือ Jambolan Plum, Java Plum, Black plum มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Syzygium cumini* (L.) Skeels ลูกหว่าที่เป็นผลสดมีรูปรีแกมรูปไข่ ฉ่ำน้ำ และผลมีสีม่วงดำ ผิวของลูกหว่ามัน มีขนาด 1 เซนติเมตร เมล็ด มี 1 เมล็ด รูปไข่ ผลดิบสามารถช่วยในการแก้ท้องเสีย ผลสุกสามารถนำมารับประทานได้ [1], [2] สีม่วงของลูกหว่านั้นมาจากสารชนิดแอนโทไซยานินซึ่งเป็นกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์พบในรูปของไกลโคไซด์ ละลายอยู่ในถุงเซลล์ของเซลล์ผิว สีของรงควัตถุกลุ่มนี้จะมีสีชมพูจนถึงแดง และมีวงจนถึงดำขึ้นกับแหล่งที่มา นอกจากนี้ลูกหว่ายังมีองค์ประกอบของวิตามินซี กรดแกลลิก และแทนนิน ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ [3], [4]

วิธีการทางพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) เป็นวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวหรือเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาเทคนิคดังกล่าวนำมาใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัวแปรหรือมากกว่าและตัวแปรอิสระตั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือสภาวะที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองนั้นๆ ซึ่งปัจจุบันวิธีดังกล่าวเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้หาสภาวะที่เหมาะสมในงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เพื่อประยุกต์ใช้หาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการปฏิบัติการแปรรูปอาหาร [5]–[11]

ลูกหว่า เป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำสูงจึงเกิดการเน่าเสียได้ง่ายและถูกทิ้งไป การยืดอายุการเก็บรักษาลูกหว่าโดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำลูกหว่าเข้มข้น จึงเป็นแนวทางเพื่อสามารถบริโภคลูกหว่าได้ตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตาม น้ำผลไม้เข้มข้นที่จำหน่ายตามท้องตลาดจะใช้วิธีการต้มระเหยที่สภาวะบรรยากาศ จึงใช้อุณหภูมิสูงและอาจทำให้คุณค่าทางโภชนาการรวมทั้งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีในผลิตภัณฑ์

สูญเสียไปมาก เพื่อที่จะแก้ปัญหาการสูญเสียคุณภาพผลิตภัณฑ์ เทคนิคการระเหยสุญญากาศจึงถูกนำมาใช้แปรรูปน้ำผลไม้เข้มข้นโดยมีจุดเดือด ความดัน และอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งสารอาหารมีการสูญเสียน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการทำเข้มข้นโดยใช้ความร้อนแบบดั้งเดิม [12] นอกจากนี้ อรุษา และคณะ [13] ได้ศึกษาผลกระทบของกระบวนการแปรรูปต่อคุณภาพน้ำมังคุดเข้มข้น โดยเปรียบเทียบวิธีการระเหยสองวิธี ได้แก่ การระเหยที่สภาวะบรรยากาศ และการระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary Evaporation) พบว่า การระเหยในสภาวะสุญญากาศป้องกันการสลายตัวของแอนโทไซยานินได้ดีกว่าการระเหยในสภาวะปกติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ โดยตรวจสอบผลของตัวแปรของกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการระเหยต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ สี ความหนืด รวมทั้งทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการทางพื้นผิวตอบสนอง เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้น

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

ลูกหว่า (Jambolan Plum หรือ Java Plum) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Syzygium cumini* (L.) Skeels ได้จากสวนในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งอยู่ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย วัตถุดิบที่นำมาใช้สำหรับการทดลองจะถูกพิจารณาจากความแก่-อ่อน สี และตำหนิต่างๆ โดยต้องเป็นวัตถุดิบที่สุก มีสีม่วง เนื้อแน่น ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ผลลูกหว่าที่ได้ถูกนำไปเก็บไว้ในตู้แช่ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำการทดลอง

2.2 การเตรียมน้ำลูกหว่าสำหรับการทำเข้มข้น

นำลูกหว่าไปตัดกับน้ำ โดยนำลูกหว่า 1 กิโลกรัม ต้มกับน้ำ 3 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ไฟอ่อน หลังจากนั้นนำน้ำลูกหว่าที่ต้มเสร็จ ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นเตรียมน้ำเชื่อมโดยต้มน้ำ 6 ลิตร ผสมกับ

น้ำตาล 1 กิโลกรัม คนไปเรื่อยๆ จนน้ำตาลละลายหมด แล้วนำน้ำลูกหว่าที่เตรียมได้ผสมกับน้ำเชื่อมที่เตรียมไว้ ได้น้ำลูกหว่าเจือจางที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้นประมาณ 10 °Brix ก่อนนำไปทำเข้มข้น

2.3 การผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ

นำตัวอย่างน้ำลูกหว่าที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 ไปทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (ZN-Vacuum Concentrator รุ่น ZN-50 ประเทศจีน) ขนาด $1.2 \times 0.6 \times 2.2$ เมตร ตัวหม้อระเหย (Chamber) มีรูปทรงกระบอก โดยได้รับความร้อนจากตัวให้ความร้อนที่กัลังไฟฟ้า (Power of Electric Heating) ขนาด 9 กิโลวัตต์ โดยให้ความร้อนผ่านตัวกลางให้ความร้อนที่เป็นน้ำร้อนความดันสูง และเชื่อมต่อกับถังควบแน่น ศึกษาอุณหภูมิในการให้ความร้อนสำหรับการระเหยที่อุณหภูมิคงที่ระหว่าง 60 ถึง 100 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำระเหยระหว่าง 10 ถึง 50 นาที ทำการระเหยตัวอย่างน้ำลูกหว่าปริมาตร 8.0 ลิตร ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ระดับความดัน 80 กิโลปาสคาล โดยมีการกวนตัวอย่างด้วยใบกวนขณะทำการระเหย นำตัวอย่างน้ำลูกหว่าเข้มข้นแต่ละสภาวะเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์

2.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Hand Refractometer (ยี่ห้อ Atago รุ่น Master-Alpha ประเทศญี่ปุ่น) โดยทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.4.2 การวิเคราะห์ค่า pH วิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Mettler tole รุ่น SG2-FK ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) โดยทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.4.3 การวิเคราะห์ค่าสี Hunter วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (รุ่น ColorQuest XE ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซึ่ง

ค่า L^* หมายถึง ค่าความสว่างมีค่า 0-100 ซึ่ง 0 = มืดที่สุด 100 = สว่างที่สุด a^* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว ซึ่ง $+a^*$ แสดงความเป็นสีแดง และ $-a^*$ แสดงความเป็นสีเขียว b^* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน ซึ่ง $+b^*$ แสดงความเป็นสีเหลือง $-b^*$ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

2.4.4 การวิเคราะห์ค่าความหนืด

วัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer (รุ่น DV-II+Pro ประเทศจีน) ใช้หัวเข็มเบอร์ 62 ความเร็วรอบในการหมุน 100 รอบต่อนาที โดยนำตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างระหว่างการวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และวัดความหนืดของตัวอย่างในหน่วย ปาสคาลวินาที (Pa.s)

2.4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี ลักษณะปรากฏ ความข้นหนืด กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวม โดยให้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ใช้แบบประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสแบบ 7 Point Hedonic Scale โดยมีระดับความชอบคือ 1 = ไม่ชอบมาก 2 = ไม่ชอบปานกลาง 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย 4 = เฉยๆ 5 = ชอบเล็กน้อย 6 = ชอบปานกลาง และ 7 = ชอบมาก

2.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้น

2.5.1 การออกแบบการทดลอง

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยหรือตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่ใช้ในการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้น โดยออกแบบการทดลองด้วยแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) ซึ่งในการออกแบบการทดลองแบบ CCD จะมีการออกแบบในทุกสภาวะความเหมาะสมของแต่ละปัจจัย และมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลางของการทดลอง โดยแปรผันระดับของตัวแปรในแต่ละปัจจัยเป็น 5 ระดับ ซึ่งให้รหัส (Code) ไว้คือ ระดับต่ำสุด (-2) ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) ระดับสูง (+1) และระดับสูงสุด (+2) ปัจจัยที่ศึกษาและระดับของรหัสที่ให้และค่าจริงแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อทำการทดลองแบบบล็อก (Block) สามารถออกแบบการทดลองได้ 14 ชุดการทดลอง

โดยเป็นการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ซึ่งทำซ้ำจำนวน 6 ซ้ำ [14] ตัวแปรอิสระที่เลือกศึกษาในการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้น ได้แก่ อุณหภูมิ (x_1) และเวลา (x_2) ในการระเหยที่มีผลต่อค่าตอบสนอง (Response) หรือตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งก็คือสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าสี และค่าความหนืด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำลูกหว่าเข้มข้น

ทำการทดลองผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นในแต่ละการทดลองตามลำดับการสุ่มเลือก โดยใช้สภาวะสำหรับอุณหภูมิและเวลาในการระเหยตามที่ได้รับจากแผนการทดลอง นำตัวอย่างน้ำลูกหว่าเข้มข้นที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่นำไปออกแบบการทดลองแบบ CCD

Independent Variables	Symbol	Code Values				
		-2	-1	0	+1	+2
Temperature (°C)	x_1	60	70	80	90	100
Time (minutes)	x_2	10	20	30	40	50

นำค่าที่วัดได้หรือค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดสอบมาสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระซึ่งประกอบด้วยระดับอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการระเหยตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple-Linear Regression) สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนาย และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัว ต่อค่าการตอบสนองตามแบบสมการพหุนามกำลังสอง (Second-Order Polynomial) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (1)$$

เมื่อ Y คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากแบบจำลอง β_0 คือ ค่าคงที่ β_1, β_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของอิทธิพลเชิงเส้นตรงของตัวแปรอิสระ β_{12} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของอิทธิพลเชิงปฏิสัมพันธ์หรืออิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรอิสระ 2 ตัว β_{11}, β_{22} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของอิทธิพลกำลังสองของตัวแปรอิสระ

หาระดับของอุณหภูมิและระยะเวลาในการระเหยตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากสภาวะการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นที่ให้คุณลักษณะทางเคมีกายภาพที่เหมาะสม และได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิม สร้างแผนภาพคอนทัวร์ (Contour Plot) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab เวอร์ชัน 16.0 (Minitab, State College; PA)

2.5.2 การทดสอบแบบจำลอง

ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองสำหรับการทำนายค่าตอบสนองที่เหมาะสม โดยทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้รับจากแบบจำลอง จากนั้นเปรียบเทียบค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการทำนายเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

3. ผลการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งอธิบายผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความหนืด ค่าสีระบบ Hunter L^*, a^*, b^* และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำลูกหว่าเข้มข้นผลิตโดยวิธีการระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 จากการหารูปแบบความเหมาะสม (Fit) ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง โดยใช้สมการพหุนามกำลังสองที่ได้จากข้อมูลการทดลองพบว่า ทั้งอุณหภูมิและเวลาในการระเหยส่งผลต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำลูกหว่าเข้มข้น ทั้งสองตัวแปรอิสระส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านสี แต่คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นรสได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิสำหรับเวลาในการระเหยส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะด้านความขุ่นหนืด จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าสมการพหุนามกำลังสองที่ได้จากข้อมูลการทดลองสำหรับคุณลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำลูกหว่าเข้มข้นที่เป็นผลมาจากตัวแปรอุณหภูมิและเวลาในการระเหย แสดงรูปแบบความเหมาะสมด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างร้อยละ 84.44 ถึง 97.83 โดยทั่วไปสมการที่มีนำไปใช้การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควรมีค่า R^2 อย่างน้อยร้อยละ 75 [15], [16]

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง และข้อมูลการทดลองที่ได้จากตัวแปรตอบสนอง

Run no.	Independent Variables		Blocks	Response Variables										
	Temperature (°C)	Time (min)		pH	°Brix	Viscosity (Pa.s)	Hunter Lab			Sensory analysis				
							L*	a*	b*	Color	Appearance	Consistency	Flavor	Acceptability
1	+1	+1	1	2.03	78.83	0.012843	21.31	1.59	1.13	5.4	5.03	4.97	4.47	5.17
2	+1	-1	1	2.41	31.66	0.0109	21.38	0.22	0.34	5.53	5	4.5	4.2	4.93
3	-1	+1	1	2.71	16.26	0.0055	20.93	0.78	0.5	4.27	4.17	3.83	3.83	4.13
4	-1	-1	1	2.62	13.4	0.0057	21.4	0.59	0.34	4.17	3.87	3.73	3.9	3.8
5	+2	0	2	2.09	84.33	0.02518	21.72	2.16	2.12	5.4	3.97	3.87	3.9	4.1
6	-2	0	2	2.63	13.2	0.0061	21.44	0.65	0.47	3.77	4.04	3.7	3.67	3.97
7	0	+2	2	2.38	40.06	0.023333	19.8	0.37	0.36	5.6	4.93	5.07	4.03	4.77
8	0	-2	2	2.67	14.4	0.0057	21.52	0.82	0.42	4.13	4.27	3.9	3.77	4.1
9	0	0	1	2.52	22.4	0.0083	21.18	0.71	0.45	4.38	4.53	4.17	4.47	4.6
10	0	0	1	2.51	22.53	0.007	21.3	0.32	0.34	4.84	4.7	4.2	4.37	4.77
11	0	0	1	2.58	20.4	0.0066	21.07	0.49	0.4	5.1	4.83	4.17	4.37	4.7
12	0	0	2	2.58	21.33	0.0067	21.25	0.45	0.47	5.07	4.83	4.1	4.23	4.57
13	0	0	2	2.53	20.93	0.0067	21.34	0.4	0.29	5	4.9	4.17	4.13	4.57
14	0	0	2	2.48	20.86	0.0065	21.17	0.47	0.3	5.03	4.63	4.13	3.93	4.23

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรอิสระในเชิงเส้น เชิงกำลังสอง และเชิงปฏิสัมพันธ์ต่อตัวแปรตอบสนอง

Source	df	Sum of Squares										
		Physicochemical properties						Sensory Analysis				
		pH	°Brix	Viscosity (Pa.s)	L*	a*	b*	Color	Appearance	Consistency	Flavor	Acceptability
Regression	5	0.49377*	6721.06*	0.000446*	2.29000*	2.71816*	2.72342*	3.65528*	1.32496	1.65402*	0.47453	1.09239
Linear	2	0.38648*	5003.41*	0.000328*	1.39054*	1.03393	1.34448*	3.46088*	0.51208	1.12755*	0.20653	0.79608
Temperature (°C)	1	0.32341*	4147.43*	0.000214*	0.07053	0.99763*	1.28707*	2.75521*	0.28521	0.42187	0.16333*	0.49207
Time (min)	1	0.06308*	885.99*	0.000114*	1.32003*	0.0363	0.05741	0.70567*	0.22688	0.70568*	0.0432	0.30401
Square	2	0.052065*	1226.81*	0.000116*	0.85944*	1.33612*	1.27971*	0.18117	0.79765	0.49224	0.2391	0.29429
Temp (°C) × Temp (°C)	1	0.05118*	1135.19*	0.000052*	0.45556	1.30114*	1.27954*	0.17247	0.76304*	0.28827	0.1395*	0.29075
Time (min) × Time (min)	1	0.00088	91.61	0.000064*	0.40388*	0.03498	0.00017	0.00871	0.03461	0.20397	0.0996	0.00354
Temp (°C) × Time (min)	1	0.05523*	490.84*	0.000001	0.04000	0.3481	0.09922	0.01322	0.01822	0.03422	0.0289	0.00202
Lack-of-Fit	3	0.02390	146.03	0.00006	0.59380	0.86426	0.34899	0.56667	0.73271*	0.57266*	0.12722	0.70231*
Pure error	4	0.00787	2.98	0.000002	0.04093	0.07907	0.02653	0.26833	0.08453	0.00307	0.05333	0.09167
R ²		93.96	97.83	88.75	84.44	74.43	88.12	81.43	62.3	74.5	80.52	62.46

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

3.2 ค่า pH

อุณหภูมิในการระเหยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อค่า pH ของน้ำลูกหว่าเข้มข้นทั้งในส่วนของการกระทบเชิงเส้น (Linear Effects) และผลกระทบกำลังสอง (Quadratic Effects) (ตารางที่ 4) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการ

ระเหยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า pH ของน้ำลูกหว่าเข้มข้นลดลง สำหรับเวลาในการระเหยพบว่า แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเชิงลบกับค่า pH ของน้ำลูกหว่าเข้มข้นเช่นกัน นอกจากนี้พบว่า อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ และเวลาในการระเหยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ($p < 0.05$) ต่อค่า pH ของน้ำลูกหว่า

เข้มข้น (ตารางที่ 4) การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการระเหยที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่า pH ของน้ำลูกหว่าเข้มข้นลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการระเหยของน้ำออกไปมากขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น ค่า pH จึงลดลงนั่นเอง จากรูปที่ 1 (ก) แสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิและเวลาในการระเหยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า pH ของน้ำลูกหว่าเข้มข้นลดลง โดยการลดลงของค่า pH ของน้ำลูกหว่าได้รับอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมากกว่าเวลา

3.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ทั้งอุณหภูมิและเวลาในการทำระเหยแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเชิงบวกต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อุณหภูมิหรือเวลาในกระบวนการระเหยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำลูกหว่าเข้มข้นเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิมากกว่าเวลาในการระเหย เนื่องจากคุณลักษณะที่ต้องการที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำผลไม้รวมเข้มข้น (มผช.1307/2557) จะต้องมียุณหภูมิของแข็งที่ละลายได้ไม่น้อยกว่า 60 °Brix จากการสังเกตจะเห็นได้ว่ามี 2 สภาวะ ของกระบวนการระเหยที่สามารถผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นจนมียุณหภูมิของแข็งที่ละลายได้สูงกว่า 60 °Brix คือที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดคือ 78.83 และ 84.33 °Brix ตามลำดับ ที่สภาวะดังกล่าวนี้ได้รับผลผลิต (Yield) น้ำลูกหว่าเข้มข้นประมาณ 1.5 ถึง 2.0 ลิตร เมื่อทำการระเหยน้ำลูกหว่าเริ่มต้น 8.0 ลิตร ในการผลิตน้ำลูกหว่าเข้มข้นด้วยวิธีการระเหยนั้นการใช้อุณหภูมิและเวลาที่สูงกว่าส่งผลให้น้ำลูกหว่ามียุณหภูมิของแข็งที่ละลายได้เพิ่มมากขึ้น [รูปที่ 1 (ข)]

มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำส้มโอเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ โดยใช้วิธีการทางพื้นผิวตอบสนอง [17] พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำส้มโอเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ ความเร็วในการกวน และเวลาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Sabanc and Icier [18] ศึกษาการผลิตน้ำเชอร์รี่เข้มข้นโดยวิธีการระเหยสุญญากาศเพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 65 °Brix พบว่า การใช้อุณหภูมิในการระเหยที่ 65 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 1.42 ชั่วโมง

3.4 ค่าความหนืด

จากตารางที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์ในทางบวกทั้งผลกระทบบางเชิงเส้นตรง และผลกระทบบ้างสองกับค่าความหนืดของน้ำลูกหว่าเข้มข้น ในทำนองเดียวกันผลกระทบบ้างสองในทางบวกต่อค่าความหนืดของ

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแบบจำลองค่าตอบสนองสำหรับสมการพหุนามกำลังสอง

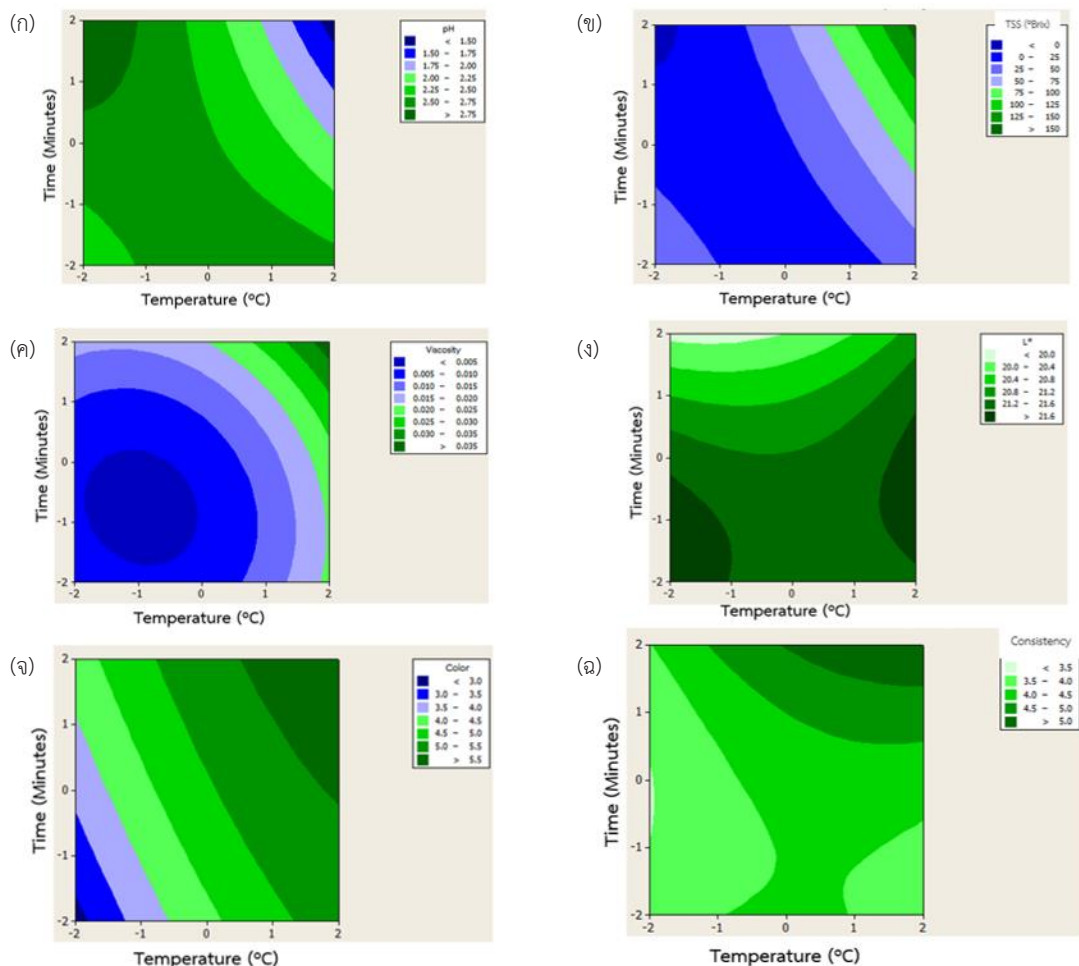
Regress Coefficients	Physicochemical Properties						Sensory Analysis				
	pH	°Brix	Viscosity (Pa.S)	L*	a*	b*	Color	Appearance	Consistency	Flavor	Acceptability
β_0 - Constant	2.52757*	21.955*	0.006648*	21.2341*	0.47429*	0.36771*	4.92886	4.74500*	4.16543*	4.22986*	4.56514*
β_1 - Temp. (°C)	-0.16417*	18.591*	0.004225*	0.0767	0.28833*	0.32700*	0.47917*	0.15417	0.18750	0.11667*	0.20250
β_2 - Time (min)	-0.07250*	8.446*	0.003084*	-0.3317*	0.05500	0.069167	0.24250*	0.13750	0.24250*	0.06000	0.15917
β_{11} - Temp. x Temp.	-0.04754*	7.409*	0.001973*	0.0955	0.24208*	0.029042*	-0.08975	-0.18812*	-0.07942	-0.09554*	-0.11258
β_{22} - Time x Time	0.00629	2.026	0.001692*	-0.1345*	0.03958	0.027920	-0.01975	-0.03938	0.09558	-0.06679	-0.01258
β_{12} - Temp. x Time	-0.11750*	11.077*	0.000536	0.1000	0.29500	0.15750	-0.05750	-0.06750	0.09250	0.08500	-0.02250

β_1 และ β_2 : ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับอุณหภูมิและเวลา ตามลำดับ

β_{11} และ β_{12} : ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงกำลังสองสำหรับอุณหภูมิและเวลา ตามลำดับ

β_{12} : ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงปฏิสัมพันธ์สำหรับอุณหภูมิและเวลา

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$



รูปที่ 1 กราฟโครงร่าง 2 มิติ ของ (ก) ค่า pH (ข) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) (ค) ค่าความหนืด (ง) ค่าสี Hunter L* (จ) คะแนนความชอบด้านสี (ฉ) คะแนนความชอบด้านความข้นหนืด

ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทั้งเชิงเส้นตรง และกำลังสองเป็นผลมาจากเวลาในการทำระเหยเช่นเดียวกัน ($p < 0.05$) แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาในการระเหยทำให้น้ำลูกหว่ามีความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น

เนื่องจากน้ำลูกหว่าจัดออกไปส่งผลให้ความหนืดมีค่าสูงขึ้น Keshani และคณะ [19] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการระเหยสุญญากาศต่อคุณสมบัติด้านวิทยากระแสของน้ำส้มโอเข้มข้นโดยทำการระเหยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดระหว่าง 20 ถึง 60 °Brix พบว่า น้ำส้มโอเข้มข้นมีค่าความหนืดปรากฏผันแปรอยู่

ระหว่าง 0.00394 ถึง 0.13 ปาสคาลวินาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้ำผลไม้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bayindirli [20] และ Ibarz และคณะ [21] ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความหนืดนั้นมีการลดลง เมื่อความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำอู่งุ่น และน้ำส้มลดลงตามลำดับ ค่าความหนืดของน้ำลูกหว่าเข้มข้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการระเหยโดยจะได้รับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการระเหยที่สูงกว่า [รูปที่ 1 (ค)]

3.5 ค่าสี Hunter L^* , a^* และ b^*

รูปที่ 1 (ง) แสดงผลกระทบเชิงลบของเวลาในการทำระเหยต่อค่าความสว่าง Hunter L^* ของน้ำตาลูกหว่าเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาในการทำระเหยเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง Hunter L^* ของน้ำตาลูกหว่าเข้มข้นมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำระเหยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า Hunter L^* ($p>0.05$) ทั้งในเชิงเส้น และเชิงกำลังสอง (ตารางที่ 3 และ 4) ส่วนการวิเคราะห์ค่า Hunter a^* และ b^* พบว่าค่าสี a^* และ b^* ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำระเหย ค่าสี Hunter a^* ซึ่งแสดงความเป็นสีแดงของน้ำตาลูกหว่าเข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำระเหย แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลูกหว่าเปลี่ยนไปเป็นสีแดงที่เข้มกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kormin [22] ที่พบว่า น้ำใบบัวบกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที มีค่าสีแดง a^* เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรซ์ซึ่งการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดสีน้ำตาลมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เห็นได้จากค่าสี a^* ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ เช่น การสลายตัวของสารสี การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ และปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ [23]

นอกจากนี้ การใช้อุณหภูมิในการทำระเหยสูงกว่าทำให้ได้น้ำลูกหว่าที่มีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้สูงกว่า ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า ซึ่งเป็นไปตามหลักโครงสร้างของแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของ Flavylium Cation ซึ่งให้สีแดงจะมีความเสถียรมากกว่า [24]

ลูกหว่าเป็แหล่งที่อุดมไปด้วยน้ำตาล ได้แก่ ราฟฟิโนส กลูโคส ฟรุคโตส และยังมีกรดแอมิโนเป็นองค์ประกอบ [25], [26] ดังนั้น การใช้ความร้อนในการทำระเหยน้ำออกไปทำให้ปริมาณน้ำตาลเหล่านี้เพิ่มขึ้น สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) และปฏิกิริยา

การเกิดคาราเมล (Caramelization) เนื่องจากลูกหว่ามีองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิคัลและกรดแอมิโนซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล [27], [28] นอกจากนี้ แอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุส่วนใหญ่ที่แสดงสีของลูกหว่าและไวต่อความร้อน การลดลงของแอนโทไซยานินเนื่องจากได้รับความร้อนจากการทำระเหย อาจส่งผลทำให้ค่าความสว่าง L^* ของน้ำตาลูกหว่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rhim และคณะ [29] ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำองุ่นด้วยความร้อนซึ่งพบว่า การระเหยที่ใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเสื่อมสลายของรงควัตถุแอนโทไซยานิน และการเสื่อมสลายของรงควัตถุแอนโทไซยานินส่งผลต่อการลดลงของค่าความสว่าง L^*

3.6 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

อุณหภูมิและเวลาในการทำระเหยมีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบด้านสีของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทำระเหยส่งผลให้คะแนนความชอบด้านสีของผู้ทดสอบชิมเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏต่อน้ำลูกหว่าเข้มข้นพบว่า ได้รับผลกระทบกำลังสองในเชิงลบจากอุณหภูมิในการทำระเหย (ตารางที่ 4) อิทธิพลหลักของอุณหภูมิในการทำระเหยส่งผลกระทบต่อเชิงบวกต่อคะแนนด้านความขุ่นหนืดของผลิตภัณฑ์แสดงว่าความขุ่นหนืดที่เพิ่มขึ้นของน้ำตาลูกหว่าเข้มข้นส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบในด้านดังกล่าวเพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสจากผู้ทดสอบชิม พบว่าได้รับผลกระทบเชิงบวก จากอิทธิพลหลักอุณหภูมิในการทำระเหย เมื่อพิจารณาค่า R^2 พบว่า มีค่ามากกว่าร้อยละ 75 สำหรับคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรส ส่วนคะแนนความชอบด้านความหนืดพบว่าได้รับค่า R^2 เท่ากับร้อยละ 74.50 (ตารางที่ 3)

3.7 การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรในกระบวนการทำระเหยเพื่อผลิตน้ำตาลูกหว่าเข้มข้น

กราฟโครงร่าง 2 มิติ นำมาใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

ของกระบวนการทำระเหยน้ำลูกหว้าด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำลูกหว้าเข้มข้นที่มีคุณภาพเหมาะสมที่สุดทั้งในด้านคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส รูปที่ 1 (ก)-(จ) แสดงให้เห็นว่าน้ำลูกหว้าเข้มข้นที่มีคุณลักษณะที่ดีได้จากการผลิตโดยสภาวะของกระบวนการระเหยที่อุณหภูมิปานกลางและเวลาในการระเหยนาน ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกหว้าเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศในการศึกษานี้พิจารณาจากค่าตอบสนองตัวแปรคุณลักษณะทางเคมีกายภาพคือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเนื่องจากถือเป็นคุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.1307/2557) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำลูกหว้าเข้มข้น พบว่าอุณหภูมิในการทำระเหยที่เหมาะสมคือ 83.58 องศาเซลเซียส และเวลาทำระเหย 50 นาที ซึ่งจะได้รับค่าตัวแปรตอบสนองสำหรับการทำนาย คือให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 65.49 °Brix

3.8. การทดสอบแบบจำลอง

เพื่อที่จะประเมินความแม่นยำของแบบจำลองการถดถอย ทำการทดลองผลิตน้ำลูกหว้าเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศด้วยสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาในการระเหยตามข้อ 3.7 โดยค่าตอบสนองที่นำมาพิจารณาความแม่นยำของแบบจำลองคือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เนื่องจากคุณลักษณะดังกล่าวถือเป็นคุณลักษณะสำคัญของน้ำผลไม้เข้มข้นที่ได้ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำผลไม้รวมเข้มข้น (มผช.1307/2557) จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำลูกหว้าเข้มข้นมีค่าเป็น 65.87 °Brix ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง คือ 65.49 °Brix ผลการทดลองที่ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำ

4. อภิปรายผลและสรุป

ในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการทางพื้นผิวตอบสนองเป็นเทคนิควิธีการทดลองทางสถิติที่มีประโยชน์ในการนำมา

ใช้หาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเข้มข้นโดยการระเหยของน้ำลูกหว้า โดยในการศึกษาดังกล่าวพบความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทำระเหยน้ำลูกหว้า ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าทั้งสองตัวแปรอิสระส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อค่าตอบสนองทางด้านเคมีกายภาพส่วนตัวแปรตอบสนองทางด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสส่งผลกระทบต่อค่าตอบสนองบางค่าเท่านั้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทำระเหยเพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกหว้าเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแนะนำให้ดำเนินการโดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 83.58 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการระเหย 50 นาที ซึ่งจะได้น้ำลูกหว้าเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 65.49 °Brix เมื่อทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากแบบจำลองพบว่า ได้รับผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 65.87 °Brix ที่ถือว่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนาย ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] O. Phuseerit, C. Najan, Y. Pangsri, and S. Rattanasuk, "Effect of yeast isolated from sugarcane juice on quality of jambolan plum (*Syzygium cumini*) wine," *The Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University*, vol. 16, no. 1, pp. 35–41, 2019 (in Thai).
- [2] R. Patel and T. V. Ramna Rao, "Growth and ripening in black plum [*Syzygium cumini* (L.) Skeels]," *International Journal of Fruit Science*, vol. 14, pp. 147–156, 2014.
- [3] J. M. Veigas, M. S. Narayan, P. M. Laxman, and

- B. Neelwarne. "Chemical nature, stability and bioefficacies of anthocyanins from fruit peel of *Syzygium cumini* Skeels," *Food Chemistry*, vol. 105, pp. 619–627, 2007.
- [4] R. M. Rastogi and B. N. Mehrotra, *Compendium of Indian Medicinal Plants (vol. 1)*, New Delhi: Publication and Information Directorate, 1990.
- [5] A. R. Silva, T. Oludemi, C. Costa, J. Barros, I. Ferreirac, J. Nunes, M. A. Prieto, J. Simal-Gandara, L. Barros, and I. Ferreira, "Mushrooms bio-residues valorisation: Optimisation of ergosterol extraction using response surface methodology," *Food and Bioprocess Technology*, vol. 122, pp. 183–192, 2020.
- [6] A. Singh and G. S. Kocher, "Standardization of seed and peel infused *Syzygium cumini* -wine fermentation using response surface methodology," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 134, 109994, pp. 1–8, 2020.
- [7] F. Jafari, K. Movagharnejad, and E. Sadeghi. "Infrared drying effects on the quality of eggplant slices and process optimization using response surface methodology," *Food Chemistry*, vol. 333, no. 11, pp. 1–8, 2020.
- [8] C. K. Pua, N. S. A. Hamid, C. P. Tan, H. Mirhosseini, R. B. A. Rahman, and G. Rusul, "Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder using response surface methodology," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 43, no. 2, pp. 343–349, 2010.
- [9] H. Mirhosseini, C. P. Tan, N. Hamid, and S. Yusof, "Optimization the contents of arabic gum, xanthan and orange oil affecting on turbidity, cloudiness, average particle size, polydispersity index and density in orange beverage emulsion," *Food Hydrocolloids*, vol. 22, no. 7, pp. 1212–1223, 2008.
- [10] W. C. Lee, S. Yusof, N. Hamid, and B. S. Baharin, "Optimizing conditions of enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology," *Journal of Food Engineering*, vol. 73, pp. 55–63, 2006.
- [11] Z. Pietrasik and E. C. Y. Li-Chan, "Response surface methodology study on the effects of salt, microbial transglutaminase and heating temperature on pork batter gel properties," *Food Research International*, vol. 35, pp. 387–396, 2002.
- [12] B. Bazarria and P. Kumar, "Compositional changes in functional attributes of vacuum concentrated beetroot juice," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 40, no. 6, pp. 1215–1222, 2016.
- [13] A. Chaovanalikit, A. Mingmuang, T. Kijbanluewit, and N. Chondamrongkul, "Effect of processing method on quality of mangosteen juice concentrate," *Journal of Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, vol. 2, no. 3, pp. 99–107, 2010 (in Thai).
- [14] D. C. Montgomery, G. C. Runger, and N. F. Hubele, *Engineering Statistics*. New Jersey: Wiley, 2001.
- [15] P. D. Haaland, *Experimental Design in Biotechnology*. New York: Marcel Dekker, 1989.
- [16] R. Hu, *Food Product Design: A Computer Aided Statistical Approach*. Pennsylvania: Technomic Publishing Co., Ltd., 1999.
- [17] S. Keshani, A. Luqman Chuah, M. M. Nourouzi, A. R. Russly, and B. Jamilah, "Optimization of



- concentration process on pomelo fruit juice using response surface methodology (RSM),” *International Food Research Journal*, vol. 17, pp. 733–742, 2010.
- [18] S. Sabanci and F. Icier. “Enhancement of the performance of sour cherry juice concentration process in vacuum evaporator by assisting ohmic heating source,” *Food and Bioprocess Processing*, vol. 122, pp. 269–279, 2020.
- [19] S. Keshani, A. Luqman Chuah, and A. R. Russly, “Effect of temperature and concentration on rheological properties pomelo juice concentrates,” *International Food Research Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 553–562, 2012.
- [20] L. Bayindirli, “Density and viscosity of grape juice as a function of concentration and temperature,” *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 17, no. 2, pp. 147–151, 1993.
- [21] A. Ibarz, C. Gonzalez, S. Esplugas, and M. Vicente, “Rheology of clarified fruit Juices. III: Orange juices,” *Journal of Food Engineering*, vol. 21, pp. 485–494, 1994.
- [22] S. Kormin, “The effect of heat processing on triterpene glycosides and antioxidant activity of herbal pegaga (*Centella asiatica* L. Urban) drink,” M.S. thesis, Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, University Technology Malaysia, Skudai, Malaysia, 2005.
- [23] M. V. Martinez and J. R. Whitaker, “The biochemistry and control of enzymatic browning,” *Journal of Trends in Food Science and Technology*, vol. 6, no. 6, pp. 195–200, 1995.
- [24] A. Kirca, M. Özkan, and B. Cemeroglu, “Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins,” *Food Chemistry*, vol. 101, pp. 212–218, 2007.
- [25] P. R. Patel and T. V. R. Rao, “Growth and ripening in black plum [*Syzygium cumini* (L.) Skeels],” *International Journal of Fruit Science*, vol. 14, pp. 147–156, 2014.
- [26] M. Ayyanar and P. Subash-Babu, “*Syzygium cumini* (L.) Skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses,” *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, vol. 2, no. 3, pp. 240–246, 2012.
- [27] K. Karseno, E. Wuryatmo, T. Yanto, and R. Setyawati, “Effect of pH and temperature on browning intensity of coconut sugar and its antioxidant activity,” *Food Research*, vol. 2, no. 1, pp. 32 – 38, 2018.
- [28] C. Y. Leong and L. S. Chua, “Optimization of concentrating process using rotary vacuum evaporation for pineapple juice,” *Chemical Engineering Transactions*, vol. 78, pp. 7–12, 2020.
- [29] J. W. Rhim, R. V. Nunes, V. A. Jones, and K. R. Swartzel, “Kinetics of colour change of grape juice generated using linearly increasing temperature,” *Journal of Food Science*, vol. 54, pp. 776–777, 1989.