

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแครอทภายใต้สภาวะกระบวนการผลิตเนื้อจุดเดือด
สำหรับการผลิตอาหารสายยาง
A Study of Cooked Carrot Properties Using Different Elevated Cooking Conditions for
Enteral Diet Production

เสนอ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

โดย

นายอัครินทร์

ทิพย์รัตน์

หัวหน้าโครงการวิจัย

เดือน มีนาคม 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสภาวะการต้มซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิและความดันที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแคโรทีน (คือ ค่าความชื้น ค่าความแข็ง โครงสร้างเซลล์ สี และปริมาณแคโรทีนอยด์โดยรวม) ที่ต้มภายใต้สภาวะเหนือจุดเดือด โดยได้ทำการพัฒนาเครื่องต้มความดันแบบสำหรับต้มวัสดุอาหารระดับห้องปฏิบัติการพร้อมระบบควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาผลของสภาวะการต้มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแคโรทีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิเหนือจุดเดือดปกติ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80, 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส และความดัน 0, 2, 4 และ 6 บาร์ จากผลการวิจัยพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิในการต้มก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน โดยมีอุณหภูมิในการต้มสูงขึ้นพบว่าสีของแคโรทีนมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีสมมติฐานว่าการเปลี่ยนค่าสีเกิดเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ดและการเปลี่ยนโครงสร้างของแคโรทีนจาก Trans-form (สีแดง-ส้ม) เป็น Cis-form (สีส้ม-เหลือง) สำหรับผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เมื่อพิจารณาโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการต้มสูงขึ้น ลักษณะโครงสร้างของแคโรทีนขนาดช่องว่างขนาดใหญ่ขึ้น เช่นเดียวกับค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นขณะที่ค่าความแข็งลดลงอย่างรวดเร็ว จากผลการทดลองพบว่าสภาวะการต้มที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์โดยรวม สำหรับที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดปกติพบว่าความแตกต่างของความดันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของแคโรทีน แต่ที่อุณหภูมิเหนือจุดเดือดปกติ (120 และ 140 องศาเซลเซียส) พบว่าเกิดอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและความดันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและค่าสีของแคโรทีน

คำสำคัญ : อุณหภูมิ / ความดัน / การต้ม / แคโรทีน

Abstract

This research was to investigate the effects of carrot cooking temperature and pressure on the physiochemical properties of cooked carrot (i.e., moisture, compressive hardness, cell structure, color and total carotenoids). A laboratory-scale pressure cooker prototype equipped with a computerized temperature controller was developed to accommodate various conditions of cooking experiments, which were done by varying the cooking pressure and temperature. The cooking temperature was varied at 80°, 100°, 120° and 140°C while the cooking pressure at 0, 2, 4 and 6 bars were utilized to subdue or enable boiling during cooking. The results showed that different elevated temperatures had profound impact on the cooked carrot properties. Higher cooking temperature resulted in higher color alteration. It was hypothesized that higher cooking temperature promoted Maillard browning reaction and transformed the original reddish pigment (Trans-form) to a more yellowish substance (Cis-form). The result of the scanning electron microscopy technique revealed the microstructure of cooked carrot of increased pore size and porosity. Higher cooking temperature also resulted in higher water uptake and softer texture. The total carotenoids content, however, remained unchanged despite all different cooking stresses applied. It was also found that there existed the effects of interaction between the cooking pressure and the elevated temperature (120° and 140°C) on the changes of moisture content and color of cooked carrot.

Keywords: Temperature / Pressure / Cooking / Carrot

ก
สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
รายการตาราง	จ
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ฎ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฏ
บทที่	1
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย	3
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	
2. ทฤษฎีและสำรวจเอกสาร	4
2.1 แครอท	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติแครอทเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อน	5
2.3 กระบวนการต้มที่สภาวะเหนือจุดเดือดปกติ	11
3. การพัฒนาเครื่องต้มความดันแบบระดับห้องปฏิบัติการพร้อมระบบควบคุม โดยใช้คอมพิวเตอร์	14
3.1 เครื่องต้มความดันแบบระดับห้องปฏิบัติการสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลง ของวัสดุอาหาร	14
3.2 การพัฒนาชุดอุปกรณ์และระบบควบคุมความดันและอุณหภูมิ	23
3.3 การพัฒนาระบบควบคุมโดยใช้โปรแกรม LabVIEW 7.1	29
3.4 การใช้งานเครื่องต้มความดันแบบสำหรับต้มวัสดุอาหารระดับห้องปฏิบัติการ	36

4. การดำเนินงานวิจัย	41
4.1 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และสารเคมี	41
4.2 การศึกษาผลของสภาวะกระบวนการต้มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของแคโรท	42
5. ผลการทดลองและบทวิจารณ์	49
5.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของแคโรทที่ผ่านกระบวนการต้มที่อุณหภูมิสูง	49
5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของแคโรทที่ผ่านกระบวนการต้มที่อุณหภูมิสูง	71
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	94
6.1 สรุปผลงานวิจัย	94
6.2 ข้อเสนอแนะ	95
เอกสารอ้างอิง	97
ภาคผนวก	102
ก การคำนวณค่าความเบี่ยงเบนทางคณิตศาสตร์	103

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณค่าทางอาหารและองค์ประกอบต่างๆในแครอท 100 กรัม	5
4.1 สถานะการดื่มที่ใช้ศึกษาในงานวิจัย	43

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 ลักษณะหัวแครอตผ่าตามขวาง	4
2.2 การแยกจากกันของผนังเซลล์เมื่อเกิดการสลายตัวของเพกติน	7
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเพกติน	7
2.4 การสลายพันธะหมู่เมทิลของเพกตินด้วยเอนไซม์ Pectinmethylesterase (PME)	9
2.5 การสลายพันธะระหว่างเพกตินด้วยเอนไซม์ Polygalacturonase (PG)	9
2.6 แผนภาพวิวัฒนาการของน้ำ ที่อุณหภูมิ และความดันต่างๆ	13
3.1 แบบจำลองเบื้องต้นของเครื่องมือต้นแบบสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงของวัสดุอาหาร	15
3.2 หม้อต้มอัดความดันสำหรับการต้มวัสดุอาหาร	16
3.3 ส่วนฝาบนหม้ออัดความดัน	17
3.4 ส่วนเชื่อมต่อหม้อน้ำร้อนและหม้อน้ำเย็น	18
3.5 ส่วนกลางของหม้อต้ม	19
3.6 ส่วนล่างของหม้อต้มอัดความดัน	20
3.7 หม้อต้มอัดความดันสำหรับการเตรียมน้ำร้อนอุณหภูมิต่างๆ	21
3.8 หม้อน้ำเย็นอัดความดันสำหรับการลดอุณหภูมิหม้อต้มและวัสดุอาหาร	23
3.9 อุปกรณ์ควบคุมความดัน	24
3.10 ตัวเชื่อมทางปลาตัวเมีย และตัวผู้	25
3.11 อุปกรณ์รับ – ส่งข้อมูล	26
3.12 กล่องควบคุมการเปิด – ปิดแผ่นให้ความร้อนชนิดสายรัด	28
3.13 แผ่นให้ความร้อนชนิดสายรัด	29
3.14 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความร้อน	29
3.15 ไอคอนรูปแบบต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	31
3.16 หน้าต่าง Block Diagram	31
3.17 หน้าต่าง Front Panel	32
3.18 ไอคอนอุปกรณ์รับข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	33
3.19 ขั้นตอนการเปรียบเทียบอุณหภูมิ และส่งสัญญาณไปยังกล่องรับ-ส่งสัญญาณ บนหน้าต่าง Block Diagram	34
3.20 ขั้นตอนการตั้งเวลาเพื่อเก็บบันทึกข้อมูล บนหน้าต่าง Block Diagram	34

3.21 โปรแกรมจับเวลาพร้อมไฟสัญญาณเตือน	35
3.22 หน้าต่าง Front Panel ของระบบควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์	36
3.23 ขั้นตอนการใช้เครื่องต้มความดันแบบสำหรับต้มวัสดุอาหารระดับห้องปฏิบัติการ	40
4.1 เครื่อง Texture Analyzer	45
4.2 เครื่องวัดสี (Colorimeter) ยี่ห้อ Juki รุ่น JP7100	46
4.3 ตัวอย่างแคโรททีนนำไปวัดค่าสี	46
5.1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 0 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	53
5.2 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	53
5.3 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 4 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	54
5.4 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 6 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	54
5.5 การสลายตัวของเพคตินด้วยเอนไซม์ Pectinmethylesterase (PME)	55
5.6 Polygalacturonase (PG) ย่อยโพลีเมอร์เพคตินให้มีขนาดเล็กลง	55
5.7 การเปลี่ยนแปลงเคมีกายภาพของแคโรททีนระหว่างกระบวนการต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	56
5.8 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	57
5.9 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	58
5.10 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	59
5.11 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	59
5.12 ค่าความแข็งของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 0 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	62
5.13 ค่าความแข็งของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	63
5.14 ค่าความแข็งของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 4 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	63
5.15 ค่าความแข็งของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 6 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	64
5.16 ค่าความแข็งของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	65
5.17 ค่าความแข็งของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	66
5.18 ค่าความแข็งของแคโรททีนภายใต้สภาวะการต้มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	66

5.19 ค่าความแข็งของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	67
5.20 โครงสร้างภายในของแครอทดิบ จากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง	68
5.21 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งของโครงสร้างภายในของแครอทจากการ ดัมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน 6 บาร์ ณ เวลาต่างๆ	69
5.22 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งของโครงสร้างภายในของแครอท ภายใต้สภาวะการดัมที่ ความดัน 6 บาร์ ณ เวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิต่างๆ	70
5.23 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 0 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	73
5.24 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	74
5.25 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 4 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	74
5.26 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 6 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	75
5.27 ค่าa* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 0 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	75
5.28 ค่าa* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	76
5.29 ค่าa* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 4 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	76
5.30 ค่าa* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 6 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	77
5.31 ค่าb* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 0 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	77
5.32 ค่าb* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	78
5.33 ค่าb* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 4 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	78
5.34 ค่าb* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่ความดัน 6 บาร์ อุณหภูมิต่างๆ	79
5.35 การเปลี่ยนสีของน้ำดัมแครอทเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ที่อุณหภูมิ 140 องศา เซลเซียส ความดัน 6 บาร์ ณ เวลาดัมต่างๆ	79
5.36 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	80
5.37 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	81
5.38 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	81
5.39 ค่าL* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	82
5.40 ค่า a* สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการดัมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	82

5.41	ค่า a^* สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	83
5.42	ค่า a^* สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	83
5.43	ค่า a^* สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	84
5.44	ค่า b^* สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	84
5.45	ค่า b^* สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	85
5.46	ค่า b^* สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	85
5.47	ค่า b^* สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน ต่างๆ	86
5.48	ส่วนต่างๆ ของเครื่องที่ใช้วิเคราะห์แคโรทีนอยด์ทั้งหมด	87
5.49	ปริมาณแคโรทีนอยด์ในส่วนต่างๆของเครื่องทอ	88
5.50	ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	90
5.51	ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	90
5.52	ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	91
5.53	ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดันต่างๆ	91
5.54	ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่ความดัน 0 บาร์ อุณหภูมิ ต่างๆ	92
5.55	ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่ความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิ ต่างๆ	92
5.56	ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของเครื่องทอภายใต้สภาวะการด้อมที่ความดัน 4 บาร์ อุณหภูมิ ต่างๆ	93

- 5.57 ค่าแคโรทีนอยด์สัมพัทธ์ของแครอทภายใต้สภาวะการต้มที่ความดัน 6 บาร์ อุณหภูมิ 93
ต่างๆ

๗

รายการสัญลักษณ์

a^*	=	ค่าความเป็นสีแดง (Redness)
b^*	=	ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness)
L^*	=	ค่าความสว่าง (Lightness)

ประมวลศัพท์และคำย่อ

°C	=	องศาเซลเซียส (Degree Celsius)
DAQ	=	Date Acquisition
MPa	=	เมกะปาสคาล
N	=	นิวตัน (Newton)
PG	=	Polygaracturonase
PME	=	Pectinmethylesterase
SCB	=	Signal Conditioning Block
SEM	=	Scanning Electron Microscopy