

# สูตรที่เหมาะสมของการผลิตแก่นตะวันดองและคิมจิจากแก่นตะวัน

## Suitable Formulations for Production of Pickled Jerusalem Artichokes and Kimchi from Jerusalem Artichokes

นรินทร์ เจริญพันธ์\* และรัชณี พุทธา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

ถนนสุวรรณศร อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว 27160

Narin Charoenphun\* and Ratchanee Puttha

Faculty of Agricultural Technology, Burapha University Sakaeo Campus,

Suwannasorn Road, Watthananakhon, Sakaeo 27160

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันต่อคุณภาพของแก่นตะวันดองและศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผักกาดขาวและแก่นตะวันต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คิมจิ วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของแก่นตะวันแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาล ส่วนค่าความแข็งและค่าความสว่างของแก่นตะวันแปรผกผันกับปริมาณน้ำตาล ปริมาณน้ำตาลที่เหมาะสมในการผลิตแก่นตะวันดอง คือ 40 กรัม ต่อหัวแก่นตะวันสดน้ำหนัก 100 กรัม ซึ่งมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงสุดในผลิตภัณฑ์คิมจิ ค่าความเป็นกรดต่างและค่าความแข็งของคิมจิแปรผันตรงกับปริมาณแก่นตะวัน ส่วนค่าการสูญเสียน้ำหนักและค่าความสว่างแปรผกผันกับปริมาณแก่นตะวัน อัตราที่เหมาะสมของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันในการผลิตคิมจิ คือ ร้อยละ 75 : 25 ซึ่งเป็นสูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมสูงสุด เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์แก่นตะวันดองและคิมจิจากแก่นตะวันที่ใช้แก่นตะวันปอกเปลือกมากกว่าแก่นตะวันไม่ปอกเปลือก การแปรรูปแก่นตะวันให้อยู่ในรูปแบบแก่นตะวันดองและคิมจิจะช่วยส่งเสริมให้มีการบริโภคแพร่หลายขึ้น ทั้งยังตอบสนองต่อวิถีการดำเนินชีวิตของผู้บริโภคยุคใหม่ได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ :** แก่นตะวัน; การดอง; คิมจิ

## Abstract

The purposes of this research were to study the effect of sugar content on the quality of pickled Jerusalem artichokes, and to study the optimum ratio of Chinese cabbage and Jerusalem artichokes on the quality of kimchi products. Physical properties and sensory evaluation of products were investigated. The results showed that weight loss value of Jerusalem artichokes varied directly with the amount of sugar. In addition, the hardness and lightness of Jerusalem artichokes were inversely with the amount of sugar. Apparently, the optimum sugar content was 40 g per 100 g of fresh Jerusalem artichokes. Interestingly, it had the highest overall liking score of kimchi products. In terms of kimchi products, pH and hardness of kimchi varied directly with the amount of Jerusalem artichokes, but weight loss value and lightness of kimchi were inversely affected by the amount of Jerusalem artichokes. The optimum ratio of Chinese cabbage and Jerusalem artichokes was 75:25 percent that had the highest overall liking score. Obviously, overall liking scores were considered. The results revealed that the overall liking scores from consumers on pickler and kimchi from peeling Jerusalem artichokes more than that from not peeled. Therefore, fresh Jerusalem artichokes can be feasibly processed into pickled Jerusalem artichokes and kimchi products. This will help to promote more widespread consumption. Furthermore, it also responds to the lifestyle of modern consumers.

**Keywords:** Jerusalem artichokes; pickling; kimchi

## 1. บทนำ

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke) มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา หัวเก็บสะสมอาหารเหมือนมันฝรั่ง หัวแก่นตะวันมีลักษณะคล้ายขิงหรือข่า เปลือกมีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อในมีสีขาว รสหวาน เนื้อสัมผัสกรอบคล้ายแห้วและมันแกว [1] มีกลิ่นหอมเฉพาะ หัวแก่นตะวันเก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตอยู่ในรูปอินนูลิน ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีจำนวนโดยประมาณของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่อยู่ในสายพอลิเมอร์มากกว่า 10 จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีใยอาหารสูง [2] โดยเป็นใยอาหารชนิดอินนูลิน 16-20 กรัมต่อหัวสด 100 กรัม และโอลิโกฟรุคโตสปริมาณ 12-15 กรัมต่อหัวสด 100 กรัม มีความหวานแต่ให้พลังงานต่ำ [3] แก่นตะวันสามารถรับประทานได้ทั้งแบบปอกเปลือก หรือล้างให้สะอาด

โดยไม่ปอกเปลือก ปริมาณรับประทานต่อหนึ่งหน่วยบริโภคที่ 70 กรัมต่อวัน จะได้รับอินนูลินประมาณ 13.6 กรัม และฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ประมาณ 3.6 กรัม การบริโภคแก่นตะวันเป็นประจำจะช่วยเสริมภูมิคุ้มกันและป้องกันโรคเรื้อรังบางโรคได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องได้รับการเสริมอินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร [4] การบริโภคแก่นตะวันในประเทศไทยยังจำกัดอยู่ในผู้บริโภคเฉพาะกลุ่ม ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย หัวแก่นตะวันสดมีปริมาณความชื้นสูง หากเก็บรักษาไม่ถูกวิธีจะเน่าเสียได้ การแปรรูปแก่นตะวันเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ นอกจากจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหัวแก่นตะวันสดให้ยาวนานขึ้น ผู้บริโภคสามารถรับประทานแก่นตะวันได้ตลอดทั้งปี เพิ่มความสะดวกในการรับประทาน และ

ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคหันมารับประทานแค้นตะวันเพิ่มขึ้น

การดอง (pickling) เป็นการถนอมอาหาร โดยการนำวัตถุดิบไปเก็บรักษาในน้ำเกลือและน้ำส้มสายชู อาจมีการเติมเครื่องเทศ น้ำตาล หรือน้ำมัน [5] การดองช่วยชะลอการเน่าเสียของวัตถุดิบ ช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียได้ง่ายให้บริโภคได้นานขึ้น ได้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหลากหลาย ทำให้อาหารมีรสและกลิ่นรสที่ดีขึ้น นอกจากนี้การดองยังเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำและไม่ต้องใช้พลังงาน และช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร การดองมีหลายวิธี ได้แก่ การดองด้วยเกลือความเข้มข้นต่ำ การดองในน้ำส้มสายชู การดองในน้ำมัน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์อาหารดอง ได้แก่ แดงกวาดอง ผักกาดดอง ผลไม้ดอง และ คิมจิ เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตแค้นตะวันดองและคิมจิที่มีส่วนผสมของแค้นตะวัน วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ควบคุมการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แค้นตะวันดองในเชิงพาณิชย์ต่อไป

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมแค้นตะวัน

นำหัวแค้นตะวันสดพันธุ์ comber (JA37) [6] มีลักษณะหัวเรียบ ไม่มีแขนงหรือมีน้อย ซึ่งได้จากแปลงปลูกอำเภอดอนจานนคร จังหวัดสระแก้ว วัดค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids) เฉลี่ยได้ประมาณ 24 องศาบริกซ์ คัดเลือกหัวที่สมบูรณ์ ไม่มีตำหนิ ขนาดสม่ำเสมอ น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว 8 กรัม ล้างด้วยน้ำสะอาด บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท เก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

### 2.2 การศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกัน

### ต่อคุณภาพของแค้นตะวันดอง

การศึกษาผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันต่อคุณภาพของแค้นตะวันดอง โดยแปรเปลี่ยนปริมาณน้ำตาลทรายขาวในน้ำดองอัตราส่วนร้อยละ 0 (สูตรที่ 1), 20 (สูตรที่ 2), 40 (สูตรที่ 3), 60 (สูตรที่ 4) และ 80 (สูตรที่ 5) ต่อหัวแค้นตะวันสดน้ำหนัก 100 กรัม ส่วนผสมอื่นในน้ำดองแค้นตะวันเท่ากันทุกสูตร ประกอบด้วยน้ำส้มสายชูกลั่น 5 % ปริมาณ 20 กรัม น้ำสะอาด 50 กรัม และเกลือ 8 กรัม ต่อหัวแค้นตะวันสด 100 กรัม เปรียบเทียบการดองแค้นตะวันทั้งเปลือกกับแค้นตะวันปอกเปลือก วิธีการดองแค้นตะวันเริ่มจากการเตรียมน้ำดองแค้นตะวัน โดยผสมน้ำตาลทรายเกลือ และน้ำสะอาดลงในหม้อ ใช้ไฟปานกลาง ต้มพอเดือด ให้ส่วนผสมละลายเข้ากัน ปิดไฟ แล้วจึงเติมน้ำส้มสายชู คนให้เข้ากัน กรองด้วยผ้าขาวบาง ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำแค้นตะวันที่เตรียมไว้มาปอกเปลือก ล้างให้สะอาด เปรียบเทียบการดองแค้นตะวันทั้งเปลือกกับแค้นตะวันปอกเปลือก บรรจุแค้นตะวันในขวดแก้วที่ผ่านการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแล้ว เติมน้ำดองที่เตรียมไว้ ปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

สังเกตลักษณะปรากฏของตัวอย่างทั้งหมด วิเคราะห์คุณภาพด้านการสูญเสียน้ำหนักสด เริ่มจากการชั่งน้ำหนักแค้นตะวันก่อนดองและชั่งน้ำหนักแค้นตะวันหลังดองด้วยเครื่องชั่ง (Zepper EPS-3001, จีน) นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณ การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) = [(น้ำหนักก่อน - น้ำหนักหลัง) ÷ น้ำหนักก่อน] × 100 วัดความแข็งของแค้นตะวันก่อนและหลังดองด้วยเครื่อง fruit hardness tester (Daiichi FG 520K, Japan) ใช้ cylinder probe ชนิดหัวกรวย ค่าแรงกดที่วัดได้เป็นหน่วยนิวตัน (N) การเตรียมตัวอย่างแค้นตะวัน โดยหั่นแค้นตะวันให้มีขนาดเท่ากัน ความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร วัดปริมาณของแข็ง

ทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแก่นตะวันก่อนและหลังดองด้วยเครื่อง hand refractometer (ATAGO MASTER-M, China) วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter, WR10QC, China) ด้วยระบบ CIE โดยค่า  $L^*$  หรือความสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) ค่า  $a^*$  (+a = สีแดง, -a = สีเขียว) และ ค่า  $b^*$  (+b = สีเหลือง, -b = สีนํ้าเงิน) วัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยเครื่อง pH meter (PH Meter 0.01, China) โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) [7] ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน คะแนน 1 ถึง 9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) โดยประเมินลักษณะปรากฏ รส กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้การวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (randomized complete block design, RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT [7] ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

### 2.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผักกาดขาวและแก่นตะวันต่อคุณภาพของคิมจิ

การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมของผักกาดขาวและแก่นตะวันต่อคุณภาพของคิมจิ โดยทดลองทั้งหมด 5 สูตร ใช้ผักกาดขาวต่อแก่นตะวันในอัตราส่วน 100:0 (สูตรควบคุม) 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ตามลำดับ ส่วนผสมอื่นในน้ำหนักรวมเท่ากันทุกสูตรประกอบด้วยเกลือป่น 5 กรัม ต้นหอมหั่น ขิง กระเทียม น้ำตาลทรายขาว และพริกเกาหลีป่นอย่างละ 1 กรัม การเตรียมวัตถุดิบสำหรับทำคิมจิ นำวัตถุดิบไปล้างทำความสะอาดและลดขนาด โดยผักกาดขาวหั่นให้มีขนาดเล็ก ความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร เปรียบเทียบแก่นตะวันแบบมีเปลือกและ

แบบปอกเปลือก โดยแก่นตะวันแบบมีเปลือกจะหั่นแก่นตะวันทั้งเปลือก ส่วนแบบปอกเปลือกจะใช้มีดปอกเปลือกเหลือแต่ส่วนที่เป็นเนื้อสีขาว นำแก่นตะวันปอกเปลือกหั่นตามยาวให้มีขนาดและความหนาเท่ากัน ต้นหอมหั่นให้ละเอียด ขิง และกระเทียมปอกเปลือกและบดให้ละเอียด ด้วยเครื่องปั่น (Philips, HR-2056, China) พริกป่นเกาหลีสำหรับทำคิมจิ (red pepper power, Green House, South Korea) วิธีการผลิตคิมจิเริ่มจากนำเกลือมาหมักกับผักกาดขาวและแก่นตะวันตามสูตร นวดเกลือกับผักกาดขาวให้เข้ากัน จนกว่าผักกาดขาวจะเริ่มอ่อนตัวลง แล้วเติมน้ำให้ท่วมผักกาดขาว แช่ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำผักกาดขาวไปล้างน้ำให้สะอาด 3 ครั้ง พักทิ้งไว้ให้แห้ง ผสมต้นหอม ขิง กระเทียม น้ำตาล พริกเกาหลี ลงในขามผสม นำผักกาดขาวและแก่นตะวันที่เตรียมไว้ผสมให้เข้ากัน นำคิมจิใส่ในโหลแก้ว ปิดฝาให้สนิท หมักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 วัน

สังเกตลักษณะปรากฏของตัวอย่างทั้งหมด วิเคราะห์คุณภาพด้านการสูญเสียน้ำหนักสด เริ่มจากการชั่งน้ำหนักเฉพาะส่วนเนื้อของคิมจีก่อนหมักและชั่งน้ำหนักเฉพาะส่วนเนื้อของคิมจิล้างหมักด้วยเครื่องชั่ง (Zepper EPS-3001, จีน) นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) =  $[(\text{น้ำหนักก่อน} - \text{น้ำหนักหลัง}) \div \text{น้ำหนักก่อน}] \times 100$  และวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างของคิมจิด้วยเครื่อง pH meter (pH Meter 0.01, China) วัดความแข็งด้วยเครื่อง fruit hardness tester (Daiichi FG 520K, Japan) ใช้ cylindrical probe หัวกดทรงกระบอก ค่าแรงกดที่วัดได้เป็นหน่วยนิวตัน (N) โดยนำส่วนของแก่นตะวันที่ผ่านการหมักเป็นคิมจิมาแช่ให้สะอาด เลือกตัวอย่างขนาดความหนา 0.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter, WR10QC, China) ด้วยระบบ CIE โดยค่า  $L^*$  หรือความสว่าง (0 = สีดำ,

100 = สีขาว) ค่า  $a^*$  (+a = สีแดง, -a = สีเขียว) และค่า  $b^*$  (+b = สีเหลือง, -b = สีน้ำเงิน) โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT [7] ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) ผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน คะแนน 1 ถึง 9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) โดยประเมินลักษณะปรากฏรส กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้การวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT [7] ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 3.1 ผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันต่อคุณภาพของแก่นตะวันดอง

ผลของน้ำตาลทรายขาวในน้ำดองอัตราส่วนร้อยละ 0 (สูตรที่ 1) 20 (สูตรที่ 2) 40 (สูตรที่ 3) 60 (สูตรที่ 4) และ 80 (สูตรที่ 5) ต่อหัวแก่นตะวันสดน้ำหนัก 100 กรัม ส่งผลต่อคุณลักษณะของแก่นตะวัน

ดองเปรียบเทียบระหว่างการดองแก่นตะวันทั้งเปลือกกับแบบปอกเปลือก พบว่าแก่นตะวันดองทั้งเปลือกกับแบบปอกเปลือกในสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของแก่นตะวันดอง และปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ มีลักษณะปรากฏที่สังเกตเห็นได้ใกล้เคียงกับแก่นตะวันสดที่ไม่ผ่านการดอง (รูปที่ 1) โดยมีขนาดปกติ เนื้อสัมผัสมีความแข็งใกล้เคียงกับแก่นตะวันสด มีความกรอบ ไม่นิ่มและ ในแก่นตะวันที่ต้องทั้งเปลือก สีของเปลือกปกติ บริเวณผิวเปลือกไม่เหี่ยวยุบ แก่นตะวันทั้งเปลือกมีสีขาวปกติ แก่นตะวันดองในสูตรที่ 4 และ 5 พบว่ามีกลิ่นปกติตามธรรมชาติของแก่นตะวันดอง และปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ มีขนาดและรูปร่างเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับแก่นตะวันสด ความแข็งลดลง เนื้อสัมผัสมีความนิ่ม ไม่กรอบ ผิวแก่นตะวันเหี่ยวยุบ สังเกตได้ชัดเจนโดยเฉพาะในสูตรที่ 5 ผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันส่งผลต่อลักษณะปรากฏของแก่นตะวันดองต่างกัน โดยทั่วไประหว่างการดองในช่วงต้นจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออสโมซิส [5] ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

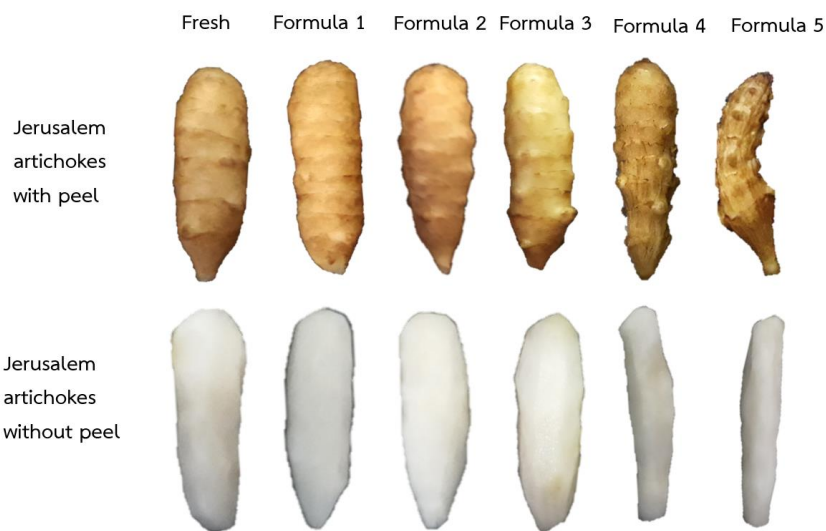


Figure 1 The effect of different amounts of sugar on the appearance of pickled Jerusalem artichokes

**Table 1** Effect of different amounts of sugar on the total soluble solids, weight loss, hardness, pH and color of pickled Jerusalem artichokes

Formula	Total soluble solids (°Brix)	Weight loss (%)	Hardness (N)	pH	Colors		
					L*	a*	b*
Jerusalem artichokes with peel							
Formula 1	24.2±0.20 <sup>e</sup>	3.09±1.20 <sup>e</sup>	15.33±0.15 <sup>a</sup>	3.15±0.03 <sup>c</sup>	56.06±0.01 <sup>a</sup>	2.53±0.01 <sup>e</sup>	7.60±0.06 <sup>d</sup>
Formula 2	29.5±0.20 <sup>d</sup>	5.86±1.30 <sup>d</sup>	14.60±0.30 <sup>b</sup>	3.24±0.04 <sup>c</sup>	54.71±0.13 <sup>b</sup>	4.20±0.10 <sup>d</sup>	10.66±0.16 <sup>c</sup>
Formula 3	37.2±0.20 <sup>c</sup>	6.78±0.94 <sup>c</sup>	13.27±0.21 <sup>c</sup>	3.38±0.02 <sup>b</sup>	52.22±0.24 <sup>c</sup>	4.50±0.06 <sup>c</sup>	12.56±0.24 <sup>b</sup>
Formula 4	40.9±0.20 <sup>b</sup>	14.18±0.82 <sup>b</sup>	9.34±0.32 <sup>d</sup>	3.77±0.08 <sup>a</sup>	51.52±0.16 <sup>d</sup>	5.85±0.01 <sup>b</sup>	12.63±0.14 <sup>b</sup>
Formula 5	45.8±0.42 <sup>a</sup>	21.90±1.11 <sup>a</sup>	7.83±0.35 <sup>e</sup>	3.86±0.09 <sup>a</sup>	50.91±0.07 <sup>e</sup>	6.02±0.04 <sup>a</sup>	15.55±0.03 <sup>a</sup>
Jerusalem artichokes without peel							
Formula 1	29.5±0.10 <sup>e</sup>	2.59±0.53 <sup>e</sup>	11.50±0.30 <sup>a</sup>	3.09±0.04 <sup>d</sup>	65.44±0.42 <sup>a</sup>	-0.75±0.04 <sup>e</sup>	4.08±0.03 <sup>d</sup>
Formula 2	32.7±0.40 <sup>d</sup>	5.46±0.62 <sup>d</sup>	11.40±0.10 <sup>a</sup>	3.22±0.03 <sup>cd</sup>	64.44±0.07 <sup>b</sup>	-0.48±0.02 <sup>d</sup>	4.34±0.04 <sup>c</sup>
Formula 3	38.5±0.40 <sup>c</sup>	6.11±0.60 <sup>c</sup>	11.20±0.19 <sup>ab</sup>	3.35±0.09 <sup>bc</sup>	63.63±0.26 <sup>c</sup>	-0.19±0.01 <sup>c</sup>	4.69±0.05 <sup>b</sup>
Formula 4	43.0±0.10 <sup>b</sup>	10.92±0.95 <sup>b</sup>	10.80±0.10 <sup>b</sup>	3.50±0.16 <sup>b</sup>	61.48±0.32 <sup>d</sup>	-0.05±0.03 <sup>b</sup>	5.16±0.05 <sup>a</sup>
Formula 5	48.7±0.30 <sup>a</sup>	17.68±1.32 <sup>a</sup>	9.33±0.29 <sup>c</sup>	3.75±0.11 <sup>a</sup>	58.31±0.32 <sup>e</sup>	1.24±0.09 <sup>a</sup>	5.24±0.22 <sup>a</sup>

mean ± SD; <sup>a-e</sup> means within each column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) using Duncan's multiple range test that are considering separation between peeled and not peeled.

ผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันต่อสมบัติทางกายภาพของแก่นตะวันดอง ประกอบด้วยค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ การสูญเสีย น้ำหนัก ความแข็ง ความเป็นกรดต่าง และค่าสีของแก่นตะวันดองทั้งเปลือกและแก่นตะวันดองแบบปอกเปลือก ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 1 ผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันต่อค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแก่นตะวันระหว่างการดอง พบว่าค่าดังกล่าวของแก่นตะวันดองทั้งเปลือกกับแก่นตะวันปอกเปลือกทั้ง 5 สูตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) สูตรที่ 5 มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด และสูตรที่ 1 มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้แปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลในน้ำดองแก่นตะวัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง

การดองแก่นตะวันทั้งเปลือกและการปอกเปลือกพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแก่นตะวันที่ต้องแบบปอกเปลือกมีแนวโน้มที่สูงกว่าแก่นตะวันดองทั้งเปลือกเล็กน้อย ความแตกต่างของค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของแก่นตะวันระหว่างการดองอาจเกิดจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) ที่อาศัยหลักการเคลื่อนย้ายน้ำบางส่วนจากเนื้อเยื่อของแก่นตะวัน ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของแก่นตะวันและน้ำตาลทรายที่นำมาใช้เตรียมเป็นสารละลายออสโมติกเกิดเป็นแรงขับทำให้มีการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเซลล์ของแก่นตะวันและสารละลายออสโมติก ในลักษณะสวนทางกันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน ผนังเซลล์ของแก่นตะวันสามารถยืดขยายตัวได้เมื่อมีแรงดันเกิดขึ้น

ภายในเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์จะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายน้ำภายในเซลล์แก่ต้นตวันซึ่งเกิดสวนทางกับการเคลื่อนย้ายของตัวถูกละลายของสารละลายน้ำตาล [8] ทำให้น้ำในแก่ต้นตวันมีปริมาณลดลงและปริมาณสารละลายน้ำตาลในแก่ต้นตวันมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้นค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในแก่ต้นตวันจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้น

ผลของปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักของแก่ต้นตวันระหว่างการดอง พบว่าค่าดังกล่าวของแก่ต้นตวันดองทั้งเปลือกกับแก่ต้นตวันปอกเปลือกทั้ง 5 สูตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) สูตรที่ 5 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด และสูตรที่ 1 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด ค่าการสูญเสียน้ำหนักแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลในน้ำดองแก่ต้นตวัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการดองแก่ต้นตวันทั้งเปลือกและการปอกเปลือก พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการดองของแก่ต้นตวันทั้งเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าแก่ต้นตวันที่ปอกเปลือกแล้ว การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการดองอาจเกิดจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น มีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้เกลือในปริมาณเพียงเล็กน้อยในการดองยังช่วยส่งเสริมการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิส เนื่องจากเกลือมีค่าไอออนแอคทีวิตีต่ำ สามารถเพิ่มแรงขับในการออสโมซิส [8] ส่งผลให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของแก่ต้นตวันเพิ่มขึ้น แก่ต้นตวันดองทั้งเปลือกมีค่าการสูญเสีย

น้ำหนักสูงกว่าแก่ต้นตวันที่ปอกเปลือก อาจเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพ เช่น ความเป็นรูป การเรียงตัวและโครงสร้างของเซลล์ ลักษณะเส้นใยและผิว สัดส่วนของโปรโตพลาสต์ต่อเพคตินที่ละลายได้ ช่องว่างภายในเซลล์และการยึดติดกันของเซลล์ [9] ของแก่ต้นตวันที่มีเปลือกกับแก่ต้นตวันที่ปอกเปลือกมีความแตกต่างกัน ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเซลล์ต่างกัน

ผลของปริมาณน้ำตาลที่แตกต่างกันต่อค่าความแข็งของแก่ต้นตวันระหว่างการดอง พบว่าค่าดังกล่าวของแก่ต้นตวันดองทั้งเปลือกกับแก่ต้นตวันปอกเปลือกทั้ง 5 สูตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) สูตรที่ 1 มีค่าความแข็งสูงที่สุด และสูตรที่ 5 มีค่าความแข็งต่ำที่สุด ค่าความแข็งแปรผกผันกับปริมาณน้ำตาลในน้ำดองแก่ต้นตวัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการดองแก่ต้นตวันทั้งเปลือกและการปอกเปลือก พบว่าแก่ต้นตวันที่ปอกเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งน้อยกว่าแก่ต้นตวันที่ดองทั้งเปลือกการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของแก่ต้นตวันระหว่างการดองอาจเกิดจากความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก (สารละลายน้ำตาล) ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นภายในแก่ต้นตวันทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายโอนมวลสาร ระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้น [9] สอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งมีผลทำให้ค่าความแข็งของแก่ต้นตวันลดลง เมื่อปริมาณสารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นสูงขึ้น อีกทั้งยังอาจเป็นผลจากความแข็งแรงของโครงสร้างพืชโดยทั่วไป บริเวณผิวเปลือกจะมีความ

ความแข็งแรงมากกว่าส่วนเนื้อ [5]

ค่าสีของแก่นตะวันดองทั้งเปลือกกับแก่นตะวันปอกเปลือกทั้ง 5 สูตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่า  $a^*$  ของแก่นตะวันดองทั้งเปลือกมีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วงสีแดง ส่วนค่า  $a^*$  ของแก่นตะวันดองแบบปอกเปลือกส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบอยู่ในช่วงสีเขียว ค่า  $b^*$  ของแก่นตะวันดองทั้งเปลือกและแบบปอกเปลือกมีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วงสีเหลือง ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงสีของแก่นตะวันดองอาจเป็นผลจากปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของแก่นตะวันเกิดการซ้ำในขั้นตอนของการทำควมสะอาด และการปอกเปลือก ทำให้เอนไซม์ สารที่ทำปฏิกิริยา และออกซิเจนเข้ามาสัมผัสกัน สารโมโนฟีนอล (ไม่มีสี) จะถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นออโรโควิโนน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีสีน้ำตาล [10] สังเกตได้จากเมื่อหั่นแก่นตะวันสดทิ้งไว้ในบรรยากาศปกติจะเกิดสีน้ำตาลขึ้น กรณีของการดองแก่นตะวันแม้ว่าในน้ำดองจะมีสภาพเป็นกรด และมีน้ำตาลที่จะช่วยป้องกันไม่ให้ออกซิเจน แต่ก็เป็นเพียงการชะลอการเกิดสีน้ำตาลและไม่ได้ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ทั้งหมด จึงทำให้เกิดสีน้ำตาลได้บ้างเล็กน้อย

ผลของปริมาณน้ำตาลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแก่นตะวันดอง (ตารางที่ 2) พบว่าคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั่วไป 30 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ รส กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) สูตรที่ 3 ในแก่นตะวันดองทั้งเปลือกและแก่นตะวันปอกเปลือกเป็นสูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมสูงที่สุด ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยภาพรวมแก่นตะวันดองทั้งเปลือกมีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมน้อยกว่าแก่นตะวันดองแบบปอกเปลือก ดังนั้นสูตรที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยแก่นตะวัน 100 กรัม น้ำตาลทรายขาว 40 กรัม น้ำสะอาด 50 กรัม น้ำส้มสายชูกลั่น (5 %) 20 กรัม และเกลือ 8 กรัม ซึ่งมีลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ใกล้เคียงกับแก่นตะวันสดที่ไม่ผ่านการดอง โดยมีขนาดปกติ เนื้อสัมผัสมีความแข็งใกล้เคียงแก่นตะวันสด และมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงที่สุด จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แก่นตะวันดอง

### 3.2 ผลของการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผักกาดขาวและแก่นตะวันต่อคุณภาพของคิมจิ

คิมจิเป็นอาหารพื้นเมืองของประเทศเกาหลี ใช้รับประทานเป็นเครื่องเคียง เสิร์ฟพร้อมกับอาหารประเภทเนื้อสัตว์ วัตถุดิบหลักคือผักกาด และวัตถุดิบสำหรับปรุงรสอื่น ๆ ที่ผ่านการหมักให้เกิดกรดแล็กติก ด้วยจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแล็กติกมีรสเปรี้ยวและเค็ม ผืดเล็กน้อย [11] การศึกษาผลของการอัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันที่แตกต่างกันต่อลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ของคิมจิ (รูปที่ 2) พบว่าคิมจิทั้ง 5 สูตร มีลักษณะปรากฏที่สังเกตได้ต่างกัน สูตรที่มีอัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 100 : 0 (สูตรควบคุม) และ 75 : 25 ลักษณะปรากฏโดยรวมกลิ่น เนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับคิมจิที่มีจำหน่ายทั่วไป สูตรที่มีอัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 50 : 50, 25 : 75 และ 0 : 100 มีลักษณะบริเวณผิวค่อนข้างแห้ง เนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งกว่าสูตรที่มี



อัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 100:0 และ 75:25

**Table 2** The liking score (n = 30) for five formulations of pickled Jerusalem artichokes

Formula	Appearance	Taste	Flavor	Texture	Overall liking
Jerusalem artichokes with peel					
Formula 1	7.53±0.94 <sup>a</sup>	4.10±0.84 <sup>c</sup>	3.77±2.04 <sup>c</sup>	7.60±0.77 <sup>a</sup>	4.07±1.51 <sup>c</sup>
Formula 2	7.37±0.93 <sup>a</sup>	5.20±0.92 <sup>b</sup>	4.53±1.53 <sup>c</sup>	7.23±1.19 <sup>a</sup>	5.20±1.03 <sup>b</sup>
Formula 3	7.50±1.07 <sup>a</sup>	7.47±1.20 <sup>a</sup>	7.50±1.38 <sup>a</sup>	7.30±0.75 <sup>a</sup>	7.47±0.82 <sup>a</sup>
Formula 4	4.27±1.78 <sup>b</sup>	5.50±0.94 <sup>b</sup>	6.53±2.01 <sup>b</sup>	4.77±1.74 <sup>c</sup>	5.20±1.43 <sup>b</sup>
Formula 5	2.47±1.43 <sup>c</sup>	3.30±1.82 <sup>d</sup>	5.67±2.25 <sup>b</sup>	2.97±1.81 <sup>d</sup>	3.07±1.95 <sup>d</sup>
Jerusalem artichokes without peel					
Formula 1	7.60±1.00 <sup>a</sup>	4.03±0.81 <sup>c</sup>	3.70±0.92 <sup>c</sup>	7.67±0.84 <sup>a</sup>	3.73±1.08 <sup>cd</sup>
Formula 2	7.57±1.01 <sup>a</sup>	5.00±0.83 <sup>b</sup>	4.23±1.22 <sup>c</sup>	7.53±0.94 <sup>a</sup>	5.07±0.74 <sup>b</sup>
Formula 3	7.53±1.01 <sup>a</sup>	7.60±1.13 <sup>a</sup>	7.57±1.38 <sup>a</sup>	7.50±0.90 <sup>a</sup>	7.67±0.92 <sup>a</sup>
Formula 4	4.87±1.93 <sup>b</sup>	5.60±0.89 <sup>b</sup>	6.47±1.98 <sup>b</sup>	5.47±1.89 <sup>b</sup>	5.47±1.78 <sup>b</sup>
Formula 5	2.90±1.60 <sup>c</sup>	3.70±1.82 <sup>cd</sup>	6.17±1.90 <sup>b</sup>	3.17±1.86 <sup>d</sup>	3.47±2.01 <sup>cd</sup>

mean ± SD; <sup>a-d</sup> means within each column indicate significant differences (p ≤ 0.05) using Duncan's multiple range test that are considering separation between peeled and not peeled.



**Figure 2** The appearance of kimchi

กลิ่นแก่นตะวันเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแก่นตะวันในสูตรเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสูตรที่ 5 มีกลิ่นแก่นตะวันชัดเจนเมื่อครบระยะเวลาการดอง 5 วัน ปริมาณน้ำในที่ชิม

ออกมาจากวัตถุดิบต่างกัน สูตรที่มีอัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 100:0 มีปริมาณน้ำเยือกที่สุด และปริมาณน้ำมีแนวโน้มลดลงในสูตรที่มี

อัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75 และ 0 : 100 ตามลำดับ โดยสูตรที่มีอัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 0 : 100 มีปริมาณน้ำน้อยที่สุด อัตราส่วนของผักกาดขาวและแก่นตะวันที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะปรากฏและคุณภาพของคิมจิ ซึ่งส่วนผสมแต่ละชนิดมีบทบาทต่างกัน กระบวนการผลิตคิมจิเป็นเทคโนโลยีเฮอรัลด์ (Hurdle technology) รูปแบบหนึ่ง โดยใช้วิธีการต่าง ๆ มากกว่าหนึ่งวิธีในการถนอมรักษา หรือยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยผลจากการใช้วิธีต่าง ๆ ร่วมกันจะทำให้สภาวะการเจริญของจุลินทรีย์ไม่เหมาะสม อาทิ การเติมกระเทียมและเครื่องเทศต่าง ๆ ซึ่งนอกจากทำให้คิมจิมีกลิ่นรสที่เข้มข้น ยังมีบทบาทในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ก่อโรคที่ไม่ต้องการ ทำให้คิมจิมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นได้ [12]

ผลของการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผักกาดขาวและแก่นตะวันต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก ความเป็นกรดต่าง ความแข็ง และค่าสีของคิมจิ (ตารางที่ 3) พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนัก ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความแข็ง และค่าสีของคิมจิทั้ง 5 สูตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) โดยภาพรวมคิมจิที่ผลิตจากแก่นตะวันปกเปลือกจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าคิมจิที่ผลิตจากแก่นตะวันที่ไม่ปกเปลือก ค่าการสูญเสีย น้ำหนักแปรผันตรงกับปริมาณผักกาดขาวในสูตร ส่วนค่าความเป็นกรดต่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณผักกาดขาวในสูตรเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปกระบวนการผลิตคิมจิเป็นการดองวัตถุดิบในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นต่ำ แต่เป็นความเข้มข้นในระดับที่สูงพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่น และเป็นระดับที่พอเหมาะ ให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแล็กติก ได้แก่ แบคทีเรียสกุล *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Diplococcus*, *Leuconostoc* และ *Lactobacillus*

เจริญเติบโตได้ดี ระหว่างการดองจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแล็กติก จะเปลี่ยนน้ำตาลที่อยู่ในผักหรือเติมลงไปให้เป็นกรดแล็กติกทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์ลดลง [11] สูตรที่มีการปริมาณผักกาดขาวสูงจะมีค่าความเป็นกรดต่างลดลงมากกว่าสูตรอื่น อาจเนื่องจากลักษณะทางกายภาพ เช่น การเรียงตัวและโครงสร้างของเซลล์ ลักษณะเส้นใยและผิว ช่องว่างภายในเซลล์และการยึดติดกันของเซลล์ที่ต่างกันของผักกาดขาวและแก่นตะวัน ลักษณะปรากฏที่สังเกตเห็นเมื่อสัมผัสของแก่นตะวันจะมีค่าความแข็งสูงกว่าผักกาดขาว ดังนั้นกระบวนการหมักดองในคิมจิสูตรที่มีปริมาณผักกาดขาวสูงจะเกิดขึ้นได้ดีกว่า การเคลื่อนย้ายน้ำบางส่วนจากเนื้อเยื่อของผักกาดขาวเกิดได้เร็วกว่าในแก่นตะวันส่งผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักสูง และการลดลงของค่าความเป็นกรดต่างในผลิตภัณฑ์

ค่าความเป็นกรดต่างมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งของคิมจิ โดยค่าความแข็งของคิมจิที่ผลิตจากแก่นตะวันทั้งเปลือกและแก่นตะวันแบบปกเปลือกทั้ง 5 สูตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่าค่าความแข็งของคิมจิแปรผันตรงปริมาณแก่นตะวันที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งของคิมจิที่ผลิตจากแก่นตะวันทั้งเปลือกมีแนวโน้มสูงกว่าคิมจิที่ผลิตจากแก่นตะวันที่ปกเปลือก สูตรที่มีอัตราส่วนผักกาดขาวต่อแก่นตะวันทั้งเปลือก 100 : 0 มีค่าความแข็งต่ำที่สุดในกระบวนการผลิตคิมจิหลังการหมักจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางชนิดจะเป็นตัวช่วยในการย่อยสลาย หรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ส่งผลให้โครงสร้างของวัตถุดิบอ่อนตัวลง โดยทั่วไปค่าความแข็งแรงของโครงสร้างของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างของพืช คาร์โบไฮเดรตที่มีบทบาทสำคัญต่อความแข็งแรงของผนังเซลล์ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัส ส่วนของเปลือก

จะมีความแข็งแรงมากกว่าส่วนเนื้อ [5] อาจส่งผลให้ คิมฉีที่ผลิตจากแก่นตะวันทั้งเปลือกมีความแข็งแรงสูงกว่าคิมฉีที่ผลิตจากแก่นตะวันปอกเปลือก เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างของ ผักกาดขาวและแก่นตะวันสดพบว่าผักกาดขาวมีความแข็งแรงของโครงสร้างน้อยกว่าแก่นตะวัน โดยค่าความแข็งแรงที่วัดได้ของแก่นตะวันสดมีค่าเฉลี่ย 11-13 นิวตัน ส่วนค่าความแข็งแรงของผักกาดขาวสดบริเวณส่วนสีขาวที่มีความแข็งแรงที่สุดจะค่าเฉลี่ย 4-6 นิวตัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของคิมฉี พบว่าค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณแก่นตะวันเพิ่มขึ้น โดยสูตรที่ใช้แก่นตะวันทั้งเปลือกมีค่าความสว่างลดลงมากกว่าคิมฉีที่ผลิตจากแก่นตะวันปอกเปลือก ค่า a\* มีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วงสีแดง และค่า b\* มีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วงสีเหลือง ค่า a\* และ b\* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณแก่นตะวัน คิมฉีที่

ผลิตจากแก่นตะวันทั้งเปลือกมีแนวโน้มเกิดสีน้ำตาลสูงกว่าคิมฉีที่ผลิตจากแก่นตะวันแบบปอกเปลือก การเกิดสีน้ำตาลในแก่นตะวันอาจเป็นผลจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งเปลือกและเนื้อของแก่นตะวันมีพอลิฟีนอลออกซิเดสเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลกับออกซิเจนได้เป็นสารสีน้ำตาล ค่าอัตราความเร็วสูงสุด (Vmax) และค่าความเข้มข้นของซับสเตรตที่ให้อัตราความเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด (Km) ของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในเปลือกแก่นตะวันมีค่า 5.09 mM และ 363.6 unit/min.mL ส่วนในเนื้อแก่นตะวันมีค่า 4.03 mM และ 714.2 unit/min.mL [13] คิมฉีที่ใช้แก่นตะวันทั้งเปลือกในการผลิตมีสีน้ำตาลสูงกว่าคิมฉีที่ใช้เฉพาะส่วนเนื้อของแก่นตะวันในการผลิตอาจเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสทั้งในส่วนเปลือกและส่วนเนื้อของแก่นตะวัน

**Table 3** Effect of the ratio of Chinese cabbage to Jerusalem artichokes on weight loss, pH, hardness and color of kimchi

Ratio of Chinese cabbage to	Weight loss (%)	pH	Hardness (N)	Color		
				L*	a*	b*
Jerusalem artichokes with peel						
100:0	29.20±0.26 <sup>a</sup>	3.50±0.20 <sup>c</sup>	1.47±0.06 <sup>e</sup>	51.53±0.06 <sup>a</sup>	1.18±0.19 <sup>e</sup>	4.27±0.14 <sup>e</sup>
75:25	21.40±0.40 <sup>b</sup>	3.80±0.40 <sup>bc</sup>	2.43±0.12 <sup>d</sup>	45.43±0.12 <sup>b</sup>	4.15±0.13 <sup>d</sup>	8.23±0.19 <sup>d</sup>
50:50	15.00±0.20 <sup>c</sup>	3.93±0.15 <sup>abc</sup>	3.03±0.15 <sup>c</sup>	42.53±0.36 <sup>c</sup>	9.52±0.20 <sup>c</sup>	13.31±0.38 <sup>c</sup>
25:75	9.17±0.29 <sup>d</sup>	4.13±0.15 <sup>ab</sup>	5.57±0.25 <sup>b</sup>	39.18±0.07 <sup>d</sup>	13.43±0.24 <sup>b</sup>	15.71±0.20 <sup>b</sup>
0:100	4.00±0.20 <sup>e</sup>	4.33±0.12 <sup>a</sup>	7.60±0.20 <sup>a</sup>	35.40±0.14 <sup>e</sup>	17.42±0.27 <sup>a</sup>	19.27±0.20 <sup>a</sup>
Jerusalem artichokes without peel						
100:0	29.20±0.26 <sup>a</sup>	3.50±0.20 <sup>c</sup>	1.47±0.06 <sup>e</sup>	51.53±0.06 <sup>a</sup>	1.18±0.19 <sup>e</sup>	4.27±0.14 <sup>e</sup>
75:25	23.30±0.30 <sup>b</sup>	3.73±0.35 <sup>bc</sup>	2.07±0.15 <sup>d</sup>	47.59±0.09 <sup>b</sup>	2.25±0.30 <sup>d</sup>	6.33±0.19 <sup>d</sup>
50:50	17.53±0.35 <sup>c</sup>	3.87±0.25 <sup>abc</sup>	2.57±0.21 <sup>c</sup>	45.20±0.93 <sup>c</sup>	4.07±0.21 <sup>c</sup>	8.67±0.51 <sup>c</sup>
25:75	13.13±0.31 <sup>d</sup>	4.03±0.12 <sup>ab</sup>	5.20±0.10 <sup>b</sup>	42.68±0.07 <sup>d</sup>	5.67±0.03 <sup>b</sup>	12.44±0.04 <sup>b</sup>

0 : 100	7.67±0.40 <sup>e</sup>	4.27±0.12 <sup>a</sup>	7.20±0.26 <sup>a</sup>	39.36±0.19 <sup>e</sup>	9.05±0.07 <sup>a</sup>	14.40±0.29 <sup>a</sup>
---------	------------------------	------------------------	------------------------	-------------------------	------------------------	-------------------------

mean ± SD; <sup>a-e</sup> means within each column indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ) using Duncan's multiple range test that are considering separation between peeled and not peeled.

**Table 4** The liking score (n = 30) for five formulations of kimchi

Ratio of Chinese cabbage to Jerusalem artichokes	Appearance	Taste	Flavor	Texture	Overall liking
Jerusalem artichokes with peel					
100 : 0	7.63±1.03 <sup>a</sup>	7.63±1.10 <sup>a</sup>	7.67±1.37 <sup>a</sup>	7.70±0.90 <sup>a</sup>	7.77±0.90 <sup>a</sup>
75 : 25	7.03±1.22 <sup>a</sup>	7.33±1.35 <sup>a</sup>	7.33±1.58 <sup>a</sup>	7.30±1.02 <sup>a</sup>	7.13±1.14 <sup>a</sup>
50 : 50	4.73±1.68 <sup>b</sup>	4.87±1.91 <sup>b</sup>	4.73±1.64 <sup>b</sup>	4.77±1.89 <sup>b</sup>	4.77±1.85 <sup>b</sup>
25 : 75	2.40±1.25 <sup>c</sup>	2.60±1.30 <sup>c</sup>	2.67±0.88 <sup>c</sup>	2.80±1.35 <sup>c</sup>	2.47±1.36 <sup>c</sup>
0 : 100	2.20±1.21 <sup>c</sup>	1.53±0.51 <sup>d</sup>	2.17±0.91 <sup>c</sup>	1.67±1.03 <sup>c</sup>	1.67±0.67 <sup>c</sup>
Jerusalem artichokes without peel					
100 : 0	7.63±1.03 <sup>a</sup>	7.63±1.10 <sup>a</sup>	7.67±1.37 <sup>a</sup>	7.70±0.90 <sup>a</sup>	7.77±0.90 <sup>a</sup>
75 : 25	7.60±0.97 <sup>a</sup>	7.50±1.11 <sup>a</sup>	7.57±1.38 <sup>a</sup>	7.60±0.67 <sup>a</sup>	7.53±1.01 <sup>a</sup>
50 : 50	5.03±1.79 <sup>b</sup>	5.27±2.00 <sup>b</sup>	5.13±1.78 <sup>b</sup>	5.17±2.10 <sup>b</sup>	5.07±1.95 <sup>b</sup>
25 : 75	3.17±1.21 <sup>c</sup>	3.67±1.81 <sup>c</sup>	3.47±1.46 <sup>c</sup>	3.37±1.65 <sup>c</sup>	3.20±1.67 <sup>c</sup>
0 : 100	2.70±1.47 <sup>c</sup>	2.00±1.49 <sup>d</sup>	2.50±1.28 <sup>d</sup>	2.17±1.76 <sup>d</sup>	2.00±1.11 <sup>d</sup>

mean ± SD; <sup>a-d</sup> means within each column indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ) using Duncan's multiple range test that are considering separation between peeled and not peeled.

ผลของการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผักกาดขาวและแก่นตะวันต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของคิมฉี (ตารางที่ 4) พบว่าคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั่วไป 30 คน โดยวิธี 9-point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ รส กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ ) สูตรที่อัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 100:0 และ 75:25 เป็นสูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ รส กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูง ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง และไม่

แตกต่างกันในทางสถิติ และสูตรที่มีอัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 0:100 มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ รส กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมน้อยที่สุด โดยภาพรวมอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำแก่นตะวันมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคิมฉี คือ อัตราส่วนของผักกาดขาวต่อแก่นตะวันร้อยละ 75:25 ซึ่งจะทำได้คิมฉีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับคิมฉีสูตรที่มีจำหน่ายทั่วไป

#### 4. สรุป

สูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แค้นตะวันตอง ประกอบด้วยแค้นตะวัน 100 กรัม น้ำตาลทรายขาว 40 กรัม น้ำสะอาด 50 กรัม น้ำส้มสายชูกลั่น (5 %) 20 กรัม และเกลือ 8 กรัม และสูตรที่เหมาะสมในการผลิตคิมฉีที่มีส่วนผสมของแค้นตะวัน ประกอบด้วยผักกาดขาว 75 กรัม แค้นตะวัน 25 กรัม เกลือป่น 8 กรัม ต้นหอม ขิง กระเทียม น้ำตาลทรายขาว และพริกเกาหลีป่นอย่างละ 1 กรัม ซึ่งเป็นสูตรที่มีลักษณะสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์อาหารตองทั่วไป และมีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบทั่วไปอยู่ในระดับชอบปานกลาง องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักดองจากแค้นตะวันเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ และอาจมีการพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปในรูปแบบอื่นที่หลากหลายเพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว ที่กรุณาให้ใช้สถานที่ เครื่องมือในการทดลอง และพื้นที่ในการปลูกแค้นตะวันสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัยครั้งนี้

### 6. References

[1] Pewsa-ard, J. and Seephaya, C., Jerusalem artichoke, Available Source: <http://www.dss.go.th/images/st-article/sti-2-2558-Sun-Choke.pdf>, November 25, 2018. (in Thai)

[2] Puakrai, M., Puthorm, S., Techawongsatien, S. and Jogloy, S., 2013, Effects of temperature and packaging ventilation on

quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber, Khon Kaen Agric. J. 41(1)(Suppl.): 597-601. (in Thai)

[3] Malai, D., Chaichawalit, C., Janphen, S. and Mailaead, S., 2013, Development of fresh noodles by substitution of Jerusalem artichoke powder, Agric. Sci. J. 22(2) (Suppl.): 269-272. (in Thai)

[4] Tanjor, S., Judprasong, K., Chaito, C. and Jogloy, S. 2012, Inulin and fructooligosaccharides in different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), KRU Res. J. 17(1): 25-34. (in Thai)

[5] Suphamityotin, P., 2013, Fruit and Vegetable Technology, Bangkok, Odeon Store, 280 p. (in Thai)

[6] Puttha, R., Jogloy, S., Wangsomnuk, P.P., Srijaranai, S., Kesmala, T. and Patanothai, A., 2012, Genotypic variability and genotype by environment interactions for inulin content of Jerusalem artichoke germplasm, Euphytica 183: 119-131.

[7] Duncan, D.B., 1995, Multiple range and multiple F-tests, Biometrics 11: 1-42.

[8] Khamchu, W. and Yuenyongputtakal, W., 2007, Effect of sucrose and NaCl on mass transfer during osmotic treatment of muskmelon (*Cucumis melo* L.), Agric. Sci. J. 38(6)(Suppl.): 91-94. (in Thai)

[9] Yuenyongputtakal, W., 2013, Factors influencing on dewatering by osmotic dehydration of fruits and vegetables, Burapha Sci. 18(1): 226-233. (in Thai)

- [10] Rattanapanone, N., 2014, Food Chemistry, Bangkok, Odeon Store, 504 p. (in Thai)
- [11] Pornchaloempong, P. and Rattanapanone, N., Pickle, Available Source: <http://www.foodnetworksolution.com>, November 25, 2018. (in Thai)
- [12] Neeha, V.S. and Kakade, S.B., 2014, Use of hurdle technology in food preservation, Int. J. Eng. Man. Res. 4(5): 204-212
- [13] Ziyen, E. and Pekyardimci, S., 2003, Characterization of polyphenol oxidase from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*). Turk. J. Chem. 27: 217-225.