Research article

Processing of Chicken Bone Broth Powder with Spicy Curry Flavor using Spray Drying Technique

Sirima Thaipitak[1], Chatrapa Hudthagosol[1], Promluck Sanporkha[1*]

[1]*Department of Nutrition, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand*

ABSTRACT

The demographic transition toward an aging society has increased the demand for easily digestible, and protein-rich foods to help prevent sarcopenia. Therefore, this study aimed to develop a spicy curry-flavored chicken bone broth powder as a highly nutritional, easily digestible, and convenient alternative dietary supplement for older adults. The study began by optimizing the extraction conditions of chicken bone broth. Boiling chicken feet at 85 °C for 24 hours yielded the maximum protein content of 25.11%. Subsequently, formulations of the spicy curry-flavored chicken bone broth were developed, and the curry formulation without black pepper received the highest sensory acceptance from the elderly panelists. When subjected to the spray drying, the optimal condition was achieved using an inlet air temperature of 150 °C combined with 15% maltodextrin. The resulting product exhibited excellent physical properties, with a solubility of 97.42%, a hygroscopicity of 19.98%, and a low water activity of 0.16, indicating safety from microbial growth. Furthermore, the product retained its antioxidant properties, showing a total phenolic content of 51.82 µg GAE/100 g, a FRAP value of 45.15 µmol TE/100 g, and an ORAC value of 50.60 µmol TE/100 g. It also achieved the highest overall preference score of 8.12 (on a scale ranging from "like very much" to "like extremely") from elderly evaluators. In conclusion, this research demonstrates the commercial potential of upcycling by-products from the frozen chicken industry into a novel, alternative protein supplement powder that is highly acceptable in taste, convenient to consume, and effectively meets the nutritional needs of the elderly.

Key words: Bone broth powder, Elderly, Spicy Curry

Received: 11 December 2026 Accepted: 28 March 2026 Available online: 8 April 2026

*Corresponding author's email: promluck.san@mahidol.ac.th

บทความวิจัย

การแปรรูปน้ำซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่าด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ศิริมา ไทพิทักษ์[1], ฉัตรภา หัตถโกศล[1], พร้อมลักษณ์ สรรพ่อค้า[1*]

[1]ภาควิชาโภชนวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ราชเทวี กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุส่งผลให้เกิดความต้องการอาหารที่ย่อยง่ายและอุดมด้วยโปรตีนเพื่อลดความเสี่ยงต่อภาวะมวลกล้ามเนื้อน้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปกระดูกไก่ชนิดผงรสแกงป่า เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารทางเลือกที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ย่อยง่าย และสะดวกต่อการบริโภคสำหรับผู้สูงอายุ การศึกษาเริ่มจากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดซุปกระดูกไก่ พบว่าการต้มเท้าไก่ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดที่ร้อยละ 25.11 จากนั้นได้พัฒนาสูตรน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่า พบว่าสูตรแกงป่าที่ไม่มีพริกไทยเป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้สูงอายุในระดับสูงสุด เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ การใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ร่วมกับปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทางกายภาพที่ดีเยี่ยม โดยมีความสามารถในการละลายร้อยละ 97.42 ความสามารถในการดูดความชื้นร้อยละ 19.98 และมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำเพียง 0.16 ซึ่งปลอดภัยจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ยังคงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 51.82 ไมโครกรัม GAE/100 กรัม ค่า FRAP 45.15 ไมโครโมล TE/100 กรัม และค่า ORAC 50.60 ไมโครโมล TE/100 กรัม พร้อมทั้งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้สูงอายุสูงสุดที่ 8.12 (ระดับชอบมากถึงชอบมากที่สุด) โดยงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการแปรรูปผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมไก่แช่แข็ง เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโปรตีนทางเลือกรูปแบบใหม่ที่มีรสชาติเป็นที่ยอมรับ สะดวกต่อการบริโภค และตอบโจทย์โภชนาการสำหรับผู้สูงอายุในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: ซุปกระดูกไก่ชนิดผง, ผู้สูงอายุ, แกงป่า

*Corresponding author's email: promluck.san@mahidol.ac.th

บทนำ

ตลาดอาหารพร้อมรับประทาน (Ready-to-Eat, RTE) กำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยในปี 2569-2571 แนวโน้มปริมาณการจำหน่ายอาหารพร้อมทานในประเทศคาดว่าจะเติบโตโดยเฉลี่ย 2.3-3.3% ต่อปี แรงหนุนจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจของประเทศคู่ค้าที่ทยอยฟื้นตัว และราคาที่จูงใจในสภาวะที่ค่าครองชีพยังคงสูงในประเทศคู่ค้า การขยายตัวของเมืองและช่องทางการจำหน่ายที่เข้าถึงผู้บริโภคมากขึ้นทั้งออนไลน์และออฟไลน์ และการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างของประชากรโดยขนาดของครอบครัวที่เล็กลงทำให้ปริมาณความต้องการอาหารที่เพียงพอต่อการบริโภคในแต่ละครั้งของครัวเรือนลดลงด้วย ปัจจัยขับเคลื่อนสำคัญได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging society) การขยายตัวของเมือง (Urbanization) และการใส่ใจในสุขภาพ (Health consciousness) ของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น[1,2] ผู้บริโภคยุคใหม่มีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่สะดวก แต่ยังคงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และความปลอดภัยใกล้เคียงกับอาหารปรุงสด "ซุป" (Soup) จึงเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างสูง โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุและผู้ใส่ใจสุขภาพ เนื่องจากรับประทานง่ายและย่อยง่าย[3] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง "น้ำซุปกระดูก" (Bone broth) ที่เตรียมโดยการเคี่ยวกระดูกสัตว์ (เช่น วัว หมู หรือไก่) เป็นเวลานานถือเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ดังกล่าวเนื่องจากเป็นแหล่งของสารอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะโปรตีนและกรด อะมิโน มีรายงานว่าการเคี่ยวกระดูกนาน 12 ชั่วโมง สามารถสกัดโปรตีนและกรดอะมิโนอิสระ (เช่น ไกลซีน, กลูตามิก และอะลานีน) ออกมาได้ในปริมาณสูง[4] นอกจากนี้ คอลลาเจน (Collagen) ซึ่งเป็นโปรตีนองค์ประกอบหลักที่พบในน้ำซุปกระดูก ยังมีบทบาทสำคัญในการสร้างความยืดหยุ่นของผิวหนังและสุขภาพข้อต่อ อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์คอลลาเจนในร่างกายจะลดลงตามวัย[5] ทำให้การบริโภคน้ำซุปกระดูกจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ แม้ว่าน้ำซุปกระดูกจะมีประโยชน์และเป็นที่ต้องการของตลาด แต่ผลิตภัณฑ์ซุปกระดูกในรูปของเหลวยังมีข้อจำกัด คือ อายุการเก็บรักษาสั้น ทำให้เกิดความยุ่งยากในการขนส่งและการจัดจำหน่าย เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงในการแปรรูปของเหลวให้เป็นผง สามารถช่วยแก้ปัญหาด้านอายุการเก็บรักษา[6] เพิ่มความสะดวกในการบริโภค และลดต้นทุนการขนส่ง[7] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมามักมุ่งเน้นไปที่การศึกษาปัจจัยการผลิต หรือการพัฒนาผงน้ำซุปกระดูกรสชาติดั้งเดิม ตามงานวิจัยของ Ergezer และคณะ (2018)[8] ที่ศึกษาการผลิตซุปกระดูกผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สารตัวพา 3 ชนิดที่แตกต่างกัน การพัฒนาน้ำซุปกระดูกรสชาติใหม่ที่เป็นเอกลักษณ์ความเป็นไทย จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าสนใจเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนารสชาติใหม่ของน้ำซุปกระดูก โดยเลือกใช้ "รสแกงป่า" เนื่องจากมีศักยภาพในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ พริกแกงป่าประกอบด้วยสมุนไพรไทยหลายชนิด (เช่น มะกรูด, หอมแดง, กระเทียม) ซึ่งมีรายงานว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ และช่วยให้ระบบย่อยอาหารดีขึ้น[9] และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน[9] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการสกัดซุปกระดูกไก่ ที่มีต่อปริมาณโปรตีนและองค์ประกอบทางเคมี เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (2) เพื่อศึกษาผลของสูตรพริกแกงป่าที่แตกต่างกันต่อคุณภาพทางกายภาพ (ค่าสี และความเป็นกรด-ด่าง) และการยอมรับทางประสาทสัมผัส สำหรับคัดเลือกเป็นสูตรต้นแบบ (3) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่า

ระเบียบการวิจัย

1. วัตถุดิบ

เท้าไก่ที่ใช้ในการศึกษานี้ มาจากเท้าไก่กระทง (Broiler) อายุระยะเวลาการเลี้ยง 45 วัน ซื้อจากห้างสรรพสินค้าแม็คโคร สาขาหนองจอก กรุงเทพมหานคร โดยการขนส่งวัตถุดิบมายังห้องปฏิบัติการ บรรจุเท้าไก่ลงในถังเก็บความเย็นที่มีน้ำแข็ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 0-4 °C ตลอดการขนส่ง คัดเลือกเฉพาะเท้าไก่ที่มีสภาพสมบูรณ์ สีขาวอมเหลืองตามธรรมชาติ ปราศจากรอยโรค รอยช้ำ นำเท้าไก่มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาไหลผ่าน เพื่อกำจัดเลือดและสิ่งสกปรก เท้าไก่ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วนำไปวางบนตะแกรงเพื่อสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที บรรจุในถุงพลาสติกสุญญากาศ (Vacuum packaging) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะนำมาใช้ในการทดลอง นำเท้าไก่ที่จัดเก็บ ณ อุณหภูมิ -20 °C มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน ความชื้น Method 950.46 (หลักการ Drying in hot air oven) โปรตีน Method 928.08 (หลักการ Kjeldahl method ใช้คอนเวอร์ชันแฟกเตอร์ (Conversion factor) สำหรับแปลงปริมาณไนโตรเจนเป็นโปรตีนที่ 6.25) ไขมัน Method 960.39 (หลักการ Soxhlet extraction method โดยใช้ตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเธอร์) เถ้า Method 920.153 (หลักการ Dry ashing method ที่อุณหภูมิ 550-600 °C) คาร์โบไฮเดรต ใช้การคำนวณจากผลต่าง (Carbohydrate by difference) สมการที่ใช้ในการคำนวณ Carbohydrate (%) = 100 - (% Moisture + %Protein + %Fat + %Ash) ตามวิธี AOAC (2023)[10] จากนั้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดซุปกระดูก นำเท้าไก่มาต้มโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเท้าไก่ต่อน้ำที่ 1:2 (โดยน้ำหนัก) ต้มครั้งละ 3 กิโลกรัม ร่วมกับส่วนผสม หัวหอม 300 กรัม แครอท 150 กรัม ขึ้นฉ่ายฝรั่ง 100 กรัม น้ำส้มสายชู 45 กรัม ต้มสกัดในหม้อที่มีฝาปิด แปรอุณหภูมิการต้มสกัดเป็น 3 ระดับ คือ 65, 75 และ 85 °C ใช้เวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง นำซุปกระดูกไก่ที่ได้มากรองผ่านผ้าขาวบาง นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีสำหรับศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2. การคัดเลือกสูตรพริกแกงป่าเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปกระดูกไก่รสแกงป่า

คัดเลือกสูตรพริกแกงป่าจำนวน 3 สูตร จากตำราอาหารไทย[11, 12, 13] โดยส่วนผสมหลักคือ พริกแห้งเม็ดใหญ่ พริกขี้หนูแห้ง เกลือ ตะไคร้ รากผักชี กระเทียมไทย หอมแดง กะปิ ขมิ้น กระชาย ผิวมะกรูด และพริกไทย ซึ่งมีสัดส่วนของสมุนไพรและเครื่องเทศที่แตกต่างกันดังนี้

สูตรที่ 1: ไม่ใส่รากผักชี และไม่ใส่พริกไทย

สูตรที่ 2: ไม่ใส่พริกขี้หนูแห้ง แต่ใส่พริกไทยและรากผักชี

สูตรที่ 3: ใส่พริกขี้หนูแห้งและใส่ขมิ้น แต่ไม่ใส่พริกไทย

โดยเตรียมพริกแกงทั้ง 3 สูตร ด้วยกรรมวิธีเดียวกัน คือ การนำสมุนไพรสดที่ล้างสะอาดและหั่นชิ้นเล็กมาปั่นผสมรวมกับเครื่องเทศแห้งจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำพริกแกงที่ได้ไปผสมกับน้ำซุปกระดูก (จากขั้นตอนที่ 1) ในอัตราส่วนระหว่างพริกแกงต่อน้ำซุปกระดูกที่ 20:80 ต้มที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 15 นาที กรองผ่านผ้าขาวบาง จากนั้นนำมาประเมินคุณภาพใน 3 ด้าน:

2.1 การประเมินทางประสาทสัมผัส ได้รับการรับรองจริยธรรมในมนุษย์ เลขที่ COA No. MUPH 2021-057 ประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบ คือ ผู้สูงอายุ จำนวน 50 คน อายุ 60-79 ปี เตรียมตัวอย่างใส่ถ้วย (10 มิลลิลิตร) พร้อมฝาปิด และติดฉลากด้วยรหัสเลขสุ่มสามหลัก ให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 °C โดยใช้สเกลความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) พิจารณาด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม

2.2 การวิเคราะห์ค่าสี: ระบบ CIE (L*, a*, b*) ด้วยเครื่อง Colorimeter ซึ่งวัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับมาตรฐาน โดยจำลองการรับรู้สีตามสายตามนุษย์ L* แทนค่าความสว่าง (Lightness) (ค่า 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว) a* แทน

ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (+ คือสีแดง, - คือสีเขียว) b* แทนค่าความสีน้ำเงิน-เหลือง (+ คือสีเหลือง, -คือสีน้ำเงิน) ทดลอง 3 ซ้ำ

2.3 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ด้วยเครื่อง pH meter ทดลอง 3 ซ้ำ

3. การศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากขั้นตอนที่ 2 มาผลิตเป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ยี่ห้อ Buchi Mini Spray Dryer รุ่น B- 290 ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่

3.1 ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin): 4 ระดับ คือ ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 (โดยน้ำหนัก)

3.2 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (Inlet Air Temperature): 3 ระดับ คือ 140, 150 และ 160 °C

4. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ผง (Analysis of Powdered Product)[14]

นำผลิตภัณฑ์ซุปกระดูกผงรสแกงป่าที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสดังนี้:

4.1 สมบัติทางกายภาพ: วิเคราะห์ปริมาณผลผลิต (% Yield) นำตัวอย่างอาหารผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมาคำนวณน้ำหนักโดยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอาหารผงที่ผลิตได้จากสมการ

$$\% \text{ Yield} = (W2/W1) \times 100$$

เมื่อ; W1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างอาหารก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (กรัม) W2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างอาหารผงหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย (กรัม) ความชื้น (Moisture content) [10] ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างออกมาพักให้เย็นในโถดูดความชื้น และคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากสมการ

$$\text{Moisture content} = ((W1 - W2) / W1) \times 100$$

เมื่อ; W1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างอาหารผงหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย (กรัม) W2 คือ น้ำหนักคงที่ของตัวอย่างอาหารผงหลังทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (กรัม) ค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity) [14] นำตัวอย่างซุปกระดูกผงใส่ลงในตลับพลาสติกประมาณ 1/3 ของตลับหรือไม่เกินครึ่งหนึ่งของตลับ จากนั้นเกลี่ยตัวอย่างให้ครอบคลุมตลับพลาสติกแล้วนำมาวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำด้วยเครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ , ค่าสี (L*, a*, b*)[14] ความสามารถในการดูดความชื้น (Hygroscopicity)[14] วัดปริมาณน้ำที่ผงอาหารดูดซับจากสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นสูงจนเข้าสู่สมดุลสภาวะ: วางตัวอย่าง 1 กรัม ในภาชนะปิดที่มีสารละลาย NaCl (ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75.29%) ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ความสามารถในการละลาย (Solubility) [14] โดยใช้แรงเหวี่ยงแยกส่วนตะกอนวิธีการ: ละลายตัวอย่าง 2.5 กรัม ในน้ำ 30 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที นาน 15 นาที นำส่วนใสไปอบแห้งที่ 105 °C เพื่อหาน้ำหนักของแข็งที่ละลายได้ ความสามารถในการเปียก (Wettability)[14] วัดระยะเวลาการจมตัวของผงอาหาร (Static Immersion Time) เพื่อดูแรงตึงผิวระหว่างผงกับน้ำวิธีการ: โรยผงตัวอย่าง 1 กรัม ลงในน้ำกลั่น (25 °C) ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จากความสูง 10 เซนติเมตร จับเวลาจนกว่าผงจะเปียกและจมลงหมด และความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility)[14] วัดความสามารถของผงอาหารในการผ่านตะแกรงร่อนหลังจากกวนผสมในน้ำช่วงเวลาสั้นๆ กวนตัวอย่างในน้ำ 15 วินาที แล้วเทผ่านตะแกรงขนาด 220 ไมโครเมตร นำส่วนที่ผ่านตะแกรงไปอบแห้งเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์เนื้อสารที่กระจายตัวได้

4.2 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ: วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay[15] วัดความสามารถในการ รีดิวซ์ (Reduction) สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก (Fe^{3+}-

TPTZ) ไปเป็น Fe^{2+} ในสภาวะกรด (pH 3.6) ที่อุณหภูมิ 37 °C วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm เทียบกับสารควบคุม (Blank) และวิธี ORAC assay[16] วัดความสามารถในการ ยับยั้งอนุมูลอิสระ ที่สร้างจากสาร AAPH เพื่อปกป้องการเสื่อมสลายของสารเรืองแสง (Fluorescein) วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 485 nm และ 530 nm แล้วคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox

5. การประเมินทางประสาทสัมผัส ได้รับการรับรองจริยธรรมในมนุษย์ เลขที่ COA No. MUPH 2021-057 การประเมินทางประสาทสัมผัสจะประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบ คือ ผู้สูงอายุจำนวน 50 คน ที่มีอายุ 60-79 ปี ตัวอย่างเตรียมใส่ถ้วย (10 มิลลิลิตร) พร้อมฝาปิด และติดฉลากด้วยรหัสเลขสุ่มสามหลัก ให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 °C โดยใช้สเกลความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) พิจารณาด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ : การศึกษาอุณหภูมิในการสกัดซุปกระดูกไก่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) การคัดเลือกสูตรพริกแกงป่าและการประเมินทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยกำหนดให้ผู้ทดสอบชิมเป็นบล็อก ใช้การวิเคราะห์ One-way ANOVA การศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน (4 ระดับ) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (3 ระดับ) ใช้การวิเคราะห์ Two-way ANOVA ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Version 30.0.0.0)

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ (เท้าไก่)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเท้าไก่ พบว่ามีความชื้นสูงสุดที่ร้อยละ 69.49±2.46 รองลงมาคือโปรตีนร้อยละ 19.42±1.26 ไขมันร้อยละ 5.14±1.43 เถ้าร้อยละ 4.05±1.28 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.90±1.11 ตามลำดับ (**ตารางที่ 1**) โปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของของแข็ง (Solid content) มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Yue และคณะ (2017)[17] Hashim และคณะ (2014)[18] Widyasari และ Rawdkuen (2014)[19] ที่พบโปรตีนประมาณร้อยละ 18.69–21.58 เท้าไก่จึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนคอลลาเจนสำหรับการสกัด เจลาตินหรือการทำซุปกระดูก เนื่องจากโครงสร้างประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ผิวหนัง และเอ็นเป็นหลัก ปริมาณไขมันและเถ้า (ร้อยละ 5.14 และ 4.05) สูงกว่าค่าที่รายงานโดย Widyasari และ Rawdkuen (2014)[19] อย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากวิธีเตรียมเท้าไก่ที่ต่างกัน โดยงานดังกล่าวใช้เฉพาะหนังและเอ็นหลังเลาะกระดูกออก ทำให้ปริมาณแร่ธาตุต่ำมาก ในขณะที่ค่าเถ้าที่สูงขึ้นในการศึกษานี้บ่งชี้ว่าตัวอย่างยังมีส่วนของกระดูกอ่อนซึ่งมีแร่ธาตุ เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบอยู่ ทั้งนี้ค่าดังกล่าวยังต่ำกว่ารายงานของ Yue และคณะ (2017)[17] ที่พบเถ้าร้อยละ 14.28 ซึ่งอาจสัมพันธ์กับความแตกต่างด้านกระบวนการบดลดขนาดหรือสัดส่วนกระดูกต่อเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในตัวอย่าง ปริมาณความชื้นที่พบ (ร้อยละ 69.49) สูงกว่าค่าที่รายงาน

โดย Widyasari และ Rawdkuen (2014)[19] เล็กน้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การแช่แข็ง การละลาย ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียน้ำระหว่างการเตรียมตัวอย่าง

นอกจากนี้อายุของไก่ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี โดย Hussein และคณะ (2025)[20] รายงานว่าไก่ที่อายุมากจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากขึ้น ส่งผลต่อปริมาณคอลลาเจน แร่ธาตุ และความชื้น รวมถึงผลผลิตเจลาตินที่สูงกว่าไก่อายุน้อย เท้าไก่ที่ใช้ในการศึกษานี้มีองค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนที่สูง เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ซุปกระดูกไก่สกัดที่มีคุณค่าทางโภชนาการในขั้นต่อไป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเท้าไก่

องประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
ความชื้น	69.49±2.46
โปรตีน	19.42±1.26
ไขมัน	5.14±1.43
เถ้า	4.05±1.28
คาร์โบไฮเดรต	1.90±1.11

2. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการต้มซุปกระดูกไก่

จาก**ตารางที่ 2** พบว่าอุณหภูมิในการต้มส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณโปรตีน ไขมัน และความชื้นของน้ำซุปกระดูกไก่ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 65 °C เป็น 85 °C ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 85 °C ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดคือร้อยละ 25.11 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับที่อุณหภูมิ 75 °C (ร้อยละ 22.78) และ 65 °C (ร้อยละ 20.16) ตามลำดับ ปริมาณไขมันพบว่ามีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 85 °C (ร้อยละ 7.17) ในขณะที่ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนปริมาณเถ้าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับอุณหภูมิ การเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 85 °C นี้สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการเปลี่ยนแปลงสภาพของคอลลาเจน (Collagen denaturation) ด้วยความร้อน โดยความร้อนทำหน้าที่ทำลายพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนต์ที่ยึดโครงสร้างเกลียวสามสาย (Triple helix) ของคอลลาเจนในกระดูกและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ส่งผลให้โครงสร้างคลายตัวและเปลี่ยนสภาพกลายเป็นเจลาติน (Gelatin) ซึ่งมีสมบัติละลายน้ำได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fatima และคณะ (2022)[21] ที่ศึกษาการสกัดเจลาตินจากเท้าไก่ และพบว่า "อุณหภูมิในการสกัด (Extraction temperature)" เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิต (Yield) ของเจลาตินที่สกัดได้ การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น (85 °C) ในการศึกษานี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดและทำให้คอลลาเจนละลายออกมาอยู่ในน้ำซุปได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำแม้ว่างานวิจัยของ Yue และคณะ (2017)[17] จะพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสกัดคอลลาเจนโดยใช้เอนไซม์คือ 30 °C แต่สำหรับการสกัดด้วยความร้อน (Thermal extraction) โดยไม่ใช้เอนไซม์หรือกรดเข้มข้น จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า (70-90 °C) เพื่อให้พลังงานเพียงพอต่อการสลายพันธะของคอลลาเจน จากผลการทดลองการต้ม ที่ 85 °C ในครั้งนี้ให้ผลดีที่สุด ซึ่งมีความสอดคล้องกับหลักการดังกล่าว นอกจากนี้ Ergezer และคณะ (2018)[8] ยังมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงกระบวนการต้มกระดูกเพื่อให้ได้น้ำซุปที่สกัดได้มีปริมาณผลผลิตสูง (High yielded extract) จำเป็นต้องใช้ความร้อนและระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อสกัดสารอาหารออกมาให้ได้มากที่สุด ซึ่งสนับสนุนผลการทดลองที่พบว่าการต้มที่ 85 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ได้น้ำซุปที่มีความเข้มข้นของของแข็ง และโปรตีนสูงที่สุด สำหรับปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เกิดจากความร้อนที่สูงขึ้นทำให้ไขมันในไขกระดูก (Bone marrow) และเนื้อเยื่อไขมันเกิดการหลอมเหลว (Melting) ได้สมบูรณ์ขึ้น ทำให้สามารถเคลื่อนที่ออกจากโพรงกระดูกมาลอยตัวอยู่ในน้ำซุปได้มากขึ้น จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิ 85 °C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมน้ำซุปกระดูกไก่ เนื่องจากสามารถสกัดโปรตีนออกมาได้ในปริมาณมากที่สุด (ร้อยละ 25.11) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้อุณหภูมินี้ในขั้นตอนการผลิตซุปกระดูกผงต่อไป

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของซุปกระดูกไก่ที่ใช้อัตราส่วนของเท้าไก่ต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 2

อุณหภูมิ	องค์ประกอบทางเคมี (%)				
	ความชื้น[NS]	ไขมัน[NS]	โปรตีน[NS]	เถ้า[NS]	คาร์โบไฮเดรต
65 ˚C	67.44±1.27	5.99±0.54	20.16±1.21	1.67±0.14	4.74[a]
75 ˚C	66.86±1.49	6.29±1.06	22.78±1.14	1.69±0.25	2.38[b]
85 ˚C	65.14±1.16	7.16±1.25	25.11±1.16	1.64±0.30	0.95[c]

NS = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

[a,b,c] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวคอลัมน์ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. การพัฒนาสูตรน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่า

3.1 การประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสสูตรน้ำแกงป่าต้นแบบ

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสซุปกระดูกไก่รสแกงป่าทั้ง 3 สูตร [11,12,13] เพื่อคัดเลือกสูตรแกงป่าต้นแบบ โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้สูงอายุเพศหญิง 32 คน และเพศชาย 18 คน ในเขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร ผลการทดลอง (**ตารางที่ 3**) พบว่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของซุปกระดูกไก่รสแกงป่าทั้ง 3 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม แกงป่าสูตรที่ 3 (ไม่ใส่พริกไทย) มีคะแนนรสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด จึงเลือกเป็นสูตรต้นแบบ

3.2 การวิเคราะห์ค่าสีของน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่า

จากการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าทั้ง 3 สูตร พบว่า L* (ความสว่าง) a* (ความเป็นสีแดง) และ b* (ความเป็นสีเหลือง) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (**ตารางที่ 4**)

แกงป่าสูตรที่ 3 (ไม่ใส่พริกไทย) มีค่า L* สูงที่สุด (29.16±0.03) ขณะที่แกงป่าสูตรที่ 1 ต่ำที่สุด เนื่องจากการไม่ใช้พริกไทยดำ/ป่นซึ่งมีสีเทาเข้มหรือดำ ทำให้สีโดยรวมสว่างขึ้น นอกจากนี้สูตรที่ 3 ยังมีขมิ้นหรือส่วนผสมที่มีสีอ่อนมากกว่า ก็จะช่วยเพิ่มความสว่าง ในทางตรงข้าม แกงป่าสูตรที่ 1 มีพริกขี้หนูแห้งสีแดงคล้ำอมน้ำตาลและมีขมิ้นน้อย จึงให้น้ำแกงป่าที่มีลักษณะสีเข้มมากกว่า

สำหรับค่า a* น้ำแกงป่าสูตรที่ 2 (ไม่ใส่พริกขี้หนูแห้ง) มีค่าสีแดงสูงสุด (21.79±0.57a) เนื่องจากใช้พริกแห้งเม็ดใหญ่ซึ่งมีสีแดงหลักของแคโรทีนอยด์ เช่น แคปแซนทิน (Capsanthin) ในปริมาณสูง ขณะที่แกงป่าสูตรที่ 1 และ 3 มีพริกขี้หนูแห้งด้วยซึ่งให้สีแดงคล้ำหรือน้ำตาล จึงลดค่าความสดของสีแดงลง ทำให้ค่า a* ต่ำกว่าค่าสีเหลือง (b*) พบว่าแกงป่าสูตรที่ 2 มีความเป็นสีเหลืองสูงสุด (37.07±0.67) ซึ่งมาจากขมิ้นที่มี เคอร์คูมิน (Curcumin) เป็นองค์ประกอบหลัก และไม่มีสีคล้ำจากพริกขี้หนูแห้ง ส่งผลให้ สีเหลืองจากขมิ้นและสีแดงส้มจากพริกเม็ดใหญ่ชัดเจน ขณะที่แกงป่าสูตรที่ 3 แม้มีขมิ้นมากที่สุด แต่การใช้พริกขี้หนูแห้งปริมาณมากทำให้สีเหลืองเข้มน้อย ค่า b* จึงต่ำกว่าสูตรที่ 2

โดยสรุป แกงป่าสูตรที่ 2 (ไม่ใส่พริกขี้หนูแห้ง) ให้ลักษณะสีแดงอมเหลือง (ค่า a* และ b* สูง) ใกล้เคียงสีแกงป่าที่ผู้บริโภคชอบ ส่วนสูตรที่ 3 มีค่าความสว่างมากกว่าแต่มีค่าความเป็นสีแดง (a*) ต่ำสุด จึงออกโทนเหลืองมากกว่าแดง

3.3 การวัดค่าความเป็นกรด–ด่างของน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าทั้ง 3 สูตร

จาก**ตารางที่ 5** พบว่าน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าทั้ง 3 สูตรมีค่า pH ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 5.70–5.72 โดยสูตรที่ 2 มีค่า pH 5.72 ตามด้วยสูตรที่ 3 มีค่า 5.71 และสูตรที่ 1 มีค่า 5.70 ซึ่งค่า pH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจาก

ตารางที่ 3 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าทั้ง 3 สูตร

สูตรแกงป่า	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 1 (ไม่ใส่รากผักชีและพริกไทย)	7.32±0.74[a]	6.23±0.99[b]	5.64±0.94[b]	6.66±0.80[b]	6.52±0.71[b]
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 2 (ไม่ใส่พริกขี้หนูแห้ง)	7.22±0.79[b]	6.74±1.07[a]	5.44±0.91[b]	6.46±0.76[b]	6.52±0.58[b]
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 3 (ไม่ใส่พริกไทย)	7.54±0.50[a]	6.88±1.01[a]	6.70±0.51[a]	6.92±0.49[a]	7.02±0.38[a]

[a,b] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวคอลัมน์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 ค่าสี (L*, a*, b*) ของน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่า 3 สูตร

สูตรแกงป่า	ค่าสี		
	L*	a*	b*
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 1 (ไม่ใส่รากผักชีและพริกไทย)	20.31±0.46[c]	19.56±1.1[b]	29.06±0.73[b]
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 2 (ไม่ใส่พริกขี้หนูแห้ง)	26.33±0.95[b]	21.79±0.57[a]	37.07±0.67[a]
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 3 (ไม่ใส่พริกไทย)	29.16±0.03[a]	12.53±0.30[c]	27.85±0.99[c]

[a,b,c] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวคอลัมน์ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ส่วนประกอบหลักของเครื่องแกงป่า เช่น หอมแดง กระเทียม ข่า ตะไคร้ และผิวมะกรูด ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วงกรดอ่อน (ประมาณ 5.5–6.0)มีสัดส่วนใกล้เคียงกันในทุกสูตร การปรับลดส่วนผสมปริมาณน้อย เช่น รากผักชี พริกไทย หรือพริกขี้หนูแห้ง จึงไม่ส่งผลต่อค่า pH โดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ

ในด้านความปลอดภัยทางอาหารค่า pH 5.70–5.72 จัดเป็นกลุ่ม “อาหารกรดต่ำ” (low-acid food; pH > 4.6) สอดคล้องกับรายงานของ Inchuen และคณะ (2011)[22] ที่ระบุว่าพริกแกงเผ็ดไทยมีค่า pH เริ่มต้นประมาณ 5.16 และจัดเป็นอาหารกรดต่ำ การที่ผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดต่ำและค่ากิจกรรมของน้ำสูงในรูปพริกแกงสดภายใต้สภาวะไม่มีอากาศเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค โดยเฉพาะแบคทีเรียสร้างสปอร์อย่าง *Clostridium botulinum* ดังนั้น ในการพัฒนาเป็นซุปกระดูกไก่ชนิดผง การลดค่ากิจกรรมของน้ำด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงถือเป็นจุดวิกฤตที่สำคัญ (Critical control point) ในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์และสร้างความปลอดภัยให้กับผลิตภัณฑ์

4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่า

4.1 สมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาผลของปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก) และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (140, 150 และ 160 °C) ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของซุปกระดูก

ไก่ผง ได้แก่ ปริมาณผลผลิต กิจกรรมของน้ำ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดความชื้น และความสามารถในการกระจายตัวผลการทดลองแสดงดัง**ตารางที่ 6**

ตารางที่ 5 ค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่า ทั้ง 3 สูตร

สูตรแกงป่า	ค่าความเป็นกรด – ด่าง[NS]
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 1 (ไม่ใส่รากผักชีและพริกไทย)	5.70±0.01
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 2 (ไม่ใส่พริกขี้หนูแห้ง)	5.72±0.01
น้ำซุปกระดูกไก่รสแกงป่าสูตร 3 (ไม่ใส่พริกไทย)	5.71±0.02

NS = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.1.1 ปริมาณผลผลิต (% Yield)

พบว่าปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและอุณหภูมิส่งผลอิทธิพลหลัก (Main effect) อย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณผลผลิต ($p < 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและอุณหภูมิขาเข้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมพบว่าการเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินมีแนวโน้มช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตได้ในทุกระดับอุณหภูมิ แต่อัตราการเพิ่มขึ้นจะแตกต่างกันไป สังเกตได้จากการใช้มอลโทเดกซ์ทรินระดับร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 140 °C และ 150 °C ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ร้อยละ 7.73 และ 7.60) แต่เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่ร้อยละ 10 ขึ้นไป การใช้อุณหภูมิสูงจะยิ่งส่งเสริมผลผลิตให้เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด โดยระดับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 160 °C ให้ค่าผลผลิตสูงสุด คือร้อยละ 17.20 การเพิ่มขึ้นของปริมาณผลผลิตเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินสามารถอธิบายได้ด้วยกลไกอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) น้ำซุปกระดูกไก่มีองค์ประกอบของไขมันและเปปไทด์สายสั้น ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีค่า Tg ต่ำ ทำให้เกิดความเหนียว (Stickiness) และเกาะติดผนังห้องอบแห้งได้ง่าย ส่งผลให้ได้ผลผลิตต่ำ มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารพาที่มีค่า T_g สูง เมื่อเติมลงไป จึงช่วยเพิ่มค่า T_g ของสารผสมรวม ทำให้อนุภาคเปลี่ยนสถานะจากยาง (Rubbery state) เป็นแก้ว (Glassy state) ได้เร็วขึ้นที่ผิวของอนุภาค ลดการเกาะติดผนัง เครื่องทำแห้ง จึงทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al. (2018)[23] ที่พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรินช่วยลดการเกาะติดผนังและเพิ่มผลผลิตในการทำแห้ง Xylo-oligosaccharides นอกจากนี้อุณหภูมิขาเข้าที่สูง (160 °C) ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน ทำให้น้ำระเหยออกได้เร็วขึ้นผิวของอนุภาคแห้งตัวเร็วขึ้น จึงลดโอกาสการเกาะติดผนังห้องทำแห้งได้อีกทางหนึ่ง

การเพิ่มขึ้นของปริมาณผลผลิตอย่างก้าวกระโดดเมื่อใช้อุณหภูมิสูงร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินปริมาณมาก สามารถอธิบายได้ด้วยพลศาสตร์ของการเกิดเปลือกแข็งบริเวณผิวอนุภาคร่วมกับกลไกอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เมื่อระบบมีปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่ำ (ร้อยละ 5) ค่า T_g รวมของระบบจะยังคงต่ำเนื่องจากอิทธิพลของเปปไทด์และไขมันในซุปกระดูก การใช้อุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้นในสภาวะนี้จึงไม่ช่วยเพิ่มผลผลิต เนื่องจากความร้อนที่สูงกลับทำให้อนุภาคที่มีค่า T_g ต่ำเกิดการหลอมเหลว (Melting) และคงอยู่ในสถานะยาง (Rubbery state) จึงเหนียวติดผนังเครื่องในทางตรงกันข้าม เมื่อเพิ่มมอลโทเดกซ์ทรินในระดับสูง (ร้อยละ 15-20) ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักที่มีค่า T_g สูง การใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 160 °C จะเข้าไปทำหน้าที่เร่งอัตราการระเหยน้ำที่ผิวของละอองฝอยให้เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ส่งผลให้อนุภาคเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปสู่สถานะแก้วและเกิดเปลือกแข็งห่อหุ้มผิวภายนอก ได้ทันทีก่อนที่อนุภาคจะพุ่งไปสัมผัสกับผนังห้องทำแห้ง

อิทธิพลร่วมนี้จึงช่วยลดปัญหาความเหนียวติดผนังได้อย่างสมบูรณ์แบบและให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด

4.1.2 ผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำ (Water Activity)

ผลการทดลองพบว่าค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ของซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่าทุกตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (ต่ำกว่า 0.6) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.16–0.36 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน โดยเฉพาะที่ระดับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 20 ซึ่งให้ค่า a^w ต่ำที่สุด (0.17) การลดลงของ a_w เกิดจากปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลายเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำอิสระในระบบลดลง และน้ำบางส่วนถูกยึดจับด้วยพันธะไฮโดรเจนกับมอลโทเดกซ์ทริน จึงไม่อยู่ในรูปที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้โดยตรง นอกจากนี้ แม้มอลโทเดกซ์ทรินจะช่วยลดปริมาณน้ำอิสระในระหว่างการเตรียมระบบ แต่ตัวมันเองมีความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศต่ำกว่าน้ำตาลและเกลือ ทำให้ผงผลิตภัณฑ์มีความเสถียรต่อความชื้นระหว่างการเก็บรักษาดีขึ้น (Cai & Corke, 2000)[24] ทั้งนี้ การวิเคราะห์ทางสถิติยังชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและอุณหภูมิ ($p < 0.05$) โดยการใช้อุณหภูมิขาเข้า 160 °C ร่วมกับการใช้มอลโทเดกซ์ทรินในระดับสูง จะช่วยเสริมประสิทธิภาพการลดค่า a_w ลงได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นแรงขับเคลื่อนในการถ่ายเทมวล ทำให้น้ำระเหยออกจากอนุภาคได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Santhalakshmy et al. (2015)[25] ที่รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าช่วยลดค่า a_w ของผงน้ำลูกหว้าทำให้อนุภาคกระจายตัวและละลายได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรที่มีมอลโทเดกซ์ทรินต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Ergezer et al. (2018)[8] ที่ระบุว่ามอลโทเดกซ์ทรินปรับปรุงการละลายของผงซุปกระดูกได้ดีกว่าสารพาชนิดอื่น

4.1.3 ความสามารถในการละลายและการกระจายตัว (Solubility and Dispersibility)

ซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่ามีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีมากในทุกสภาวะการทดลอง (ร้อยละ 95.70 - 99.51) และมีความสามารถในการกระจายตัวเพิ่มขึ้นอย่างมากตามปริมาณ มอลโทเดกซ์ทรินที่เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 62.56 (ที่ 5%) เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 92.17 (ที่ 20%) การเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน ส่งผลในทางบวกต่อสมบัติการคืนรูป (Reconstitution) เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) และละลายน้ำได้ดีมาก เมื่อนำมาห่อหุ้มองค์ประกอบของไขมันและโปรตีนในซุปกระดูก จะช่วยลดแรงตึงผิวและสร้างโครงสร้างอนุภาคที่น้ำสามารถแทรกซึมได้ง่าย ช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของไขมันและโปรตีนเมื่อสัมผัสกับน้ำ

4.1.4 ความสามารถในการดูดความชื้น (Hygroscopicity)

จากการวิเคราะห์พบอิทธิพลร่วม ระหว่างปัจจัยทั้งสองต่อความสามารถในการดูดความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับมอลโทเดกซ์ทรินต่ำ (ร้อยละ 5) การเพิ่มอุณหภูมิขาเข้ามีแนวโน้มทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นลดลง ในขณะที่ระดับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 การเพิ่มอุณหภูมิกลับส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นได้มากขึ้น (เพิ่มจากร้อยละ 20.26 เป็น 24.59) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักในภาพรวม ความสามารถในการดูดความชื้นจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15 และ 20 โดยธรรมชาติแล้วผงซุปกระดูกไก่ที่มีโปรตีนย่อยสลายและแร่ธาตุสูงจะมีความไวต่อความชื้นมาก การเติมมอลโทเดกซ์ทรินเพื่อทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มปริมาณที่เข้าไปช่วยเจือจาง (Dilution effect) ความเข้มข้นของสารที่ดูดความชื้นเหล่านั้น อีกทั้งมอลโทเดกซ์ทรินที่ใช้มีค่า DE (Dextrose Equivalent) ต่ำ มีความสามารถใน

การดูดความชื้นต่ำกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสท จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเสถียรต่อความชื้นในอากาศมากขึ้นลดปัญหาการเกาะตัวเป็นก้อน (Caking) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zhang et al. (2018)[23] ที่พบว่าการเพิ่มมอลโทเดกซ์ทรินช่วยลดการดูดความชื้นของผง Xylo-oligosaccharides ได้อย่างมีนัยสำคัญ ปรากฏการณ์อิทธิพลร่วมนี้สามารถอธิบายได้ด้วย ความสมบูรณ์ของการสร้างโครงสร้างห่อหุ้มระดับไมโคร ที่ระดับมอลโทเดกซ์ทรินต่ำ (ร้อยละ 5) ปริมาณสารพาไม่เพียงพอที่จะสร้างผนังแคปซูลห่อหุ้มสารดูดความชื้น ได้มิดชิดการใช้อุณหภูมิสูงในสภาวะนี้ทำให้เปลือกหุ้มที่ไม่สมบูรณ์เกิดการแห้งตัวและแตกร้าว รูพรุนที่เกิดขึ้นจึงเป็นช่องทางให้ความชื้นจากอากาศซึมผ่านเข้าไปได้ง่าย แต่เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินในระดับที่สูงเพียงพอ (ร้อยละ 15-20) จะเกิดการสร้างเครือข่ายพอลิเมอร์ที่หนาและสมบูรณ์หุ้มแกนกลางไว้ เมื่อผสานกับการใช้อุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสม (150-160 °C) ความร้อนจะช่วยทำให้น้ำระเหยออกอย่างรวดเร็วและโครงสร้างของมอลโทเดกซ์ทรินหดตัวรัดแน่นขึ้น ทำให้ผิวของอนุภาคมีความเรียบเนียน ปราศจากรอยร้าวหรือรูพรุน การประสานการทำงานระหว่างสัดส่วนสารพาที่เหมาะสมกับความร้อนที่พอดีนี้ จึงสร้างเกราะป้องกันที่มีประสิทธิภาพ ขัดขวางการแทรกซึมของโมเลกุลน้ำจากอากาศภายนอก ส่งผลให้ความสามารถในการดูดความชื้นลดลงอย่างชัดเจน

ตารางที่ 6 สมบัติทางกายภาพของซุปกระดูกไก่ผงแกงป่าที่มีระดับปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและใช้อุณหภูมิขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน (%w/v)	ปริมาณผลผลิต (%)	กิจกรรมของน้ำ (Water Activity)	ความสามารถในการละลาย (%)	ความสามารถในการดูดความชื้น (%)	ความสามารถในการกระจายตัว (%)
140	5	7.73±0.19^{i}	0.36±0.04^{a}	96.99±1.06^{cde}	24.23±1.25^{a}	62.56±4.70^{g}
150	5	7.60±0.34^{i}	0.33±0.01^{b}	97.47±0.47^{bcd}	23.22±1.01^{b}	62.41±3.25^{g}
160	5	8.41±0.06^{h}	0.34±0.01 ^{ab}	98.59±1.33^{ab}	22.96±0.23^{b}	63.26±2.30^{f}
140	10	10.48±0.12^{g}	0.33±0.01^{b}	96.70±0.9^{cde}	20.26±1.08^{de}	83.66±3.10^{e}
150	10	11.68±0.22^{f}	0.32±0.00^{b}	97.22±0.67^{bcd}	21.72±0.90^{c}	83.93±1.68^{e}
160	10	12.39±0.24^{e}	0.30±0.00^{c}	98.07±0.39^{abc}	24.59±1.05^{a}	84.50±2.36^{de}
140	15	12.93±0.37^{d}	0.23±0.01^{d}	95.70±0.17^{e}	18.85±0.31^{f}	86.12±2.50^{c}
150	15	13.20±0.23^{d}	0.16±0.01^{f}	97.42±1.15^{bcd}	19.98±0.56^{e}	87.36±2.63^{c}
160	15	13.88±0.20^{c}	0.18±0.00^{f}	99.03±0.81^{a}	20.38±0.52^{d}	88.41±1.36^{b}
140	20	16.43±0.16^{b}	0.17±0.00^{f}	96.31±0.34^{de}	16.37±0.20^{h}	90.02±1.90 ^{a}
150	20	16.91±0.18^{a}	0.17±0.00^{f}	98.53±0.96^{ab}	16.86±0.10^{h}	91.23±1.20^{a}
160	20	17.20±0.26^{a}	0.17±0.00^{f}	99.51±0.23^{a}	17.34±0.14^{g}	92.17±1.31^{a}

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรยกกำลังกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.2 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและอุณหภูมิขาเข้าที่ใช้ทำแห้งส่งผลอิทธิพลหลัก (Main effect) อย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (TPC, ORAC และ FRAP) ($p < 0.05$) ของซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่า ดังแสดงใน**ตารางที่ 7** อีกทั้งยังพบอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างทั้งสองปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักพบว่า การเพิ่มมอลโทเดกซ์ทรินจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 20 ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่า ORAC และค่า FRAP มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง อธิบายได้ด้วย ปรากฏการณ์การเจือจาง เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินทำหน้าที่เป็น bulking agent และ wall material ที่ไม่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การเพิ่มสัดส่วนมอลโทเดกซ์ทรินจึงทำให้สัดส่วนของของแข็งจากน้ำซุปและเครื่องแกง ซึ่งเป็นแหล่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น เปปไทด์และสารประกอบฟีนอลิกลดลงต่อหน่วยน้ำหนักของผงแห้ง ส่งผลให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้ลดลงสำหรับอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย จะสังเกตเห็นความสัมพันธ์ได้ชัดเจนจากค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ยกตัวอย่างเช่น ค่า ORAC พบว่าที่ระดับมอลโทเดกซ์ทรินต่ำ (ร้อยละ 5 และ 10) การใช้อุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่า ORAC ลดลงอย่างต่อเนื่องเนื่องจากการเสื่อมสลายด้วยความร้อน แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 กลับพบว่าการใช้อุณหภูมิ 150 °C ให้ค่า ORAC (50.60 µmol TE/100 g) สูงกว่าการใช้อุณหภูมิ 140 °C (49.26 µmol TE/100 g) ก่อนที่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 160 °C ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นว่ามอลโทเดกซ์ทรินระดับร้อยละ 15 สามารถสร้างโครงสร้างห่อหุ้มสารสำคัญที่ไวต่อความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำแห้งที่ 150 °C ส่วนอิทธิพลหลักของอุณหภูมิต่อค่า TPC ที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงซึ่งสอดคล้องกับงานของ Hanis Mastura และคณะ (2017)[26] เนื่องจากความร้อนช่วยทำลายผนังเซลล์ทำให้ Bound phenolics ถูกปลดปล่อยออกมา และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction Products - MRPs) บางส่วนสามารถรีดิวซ์ Folin-Ciocalteu ได้ จึงทำให้ค่า TPC ที่วัดได้สูงขึ้นในด้านค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ORAC และ FRAP) ลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะในบริบทของการทำแห้งแบบพ่นฝอยซุปเท้าไก่ที่อุณหภูมิ 160 °C ในงานวิจัยนี้สะท้อนให้เห็นว่า อัตราการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนของสารสำคัญที่ไวต่อความร้อน เช่น วิตามินและสารระเหยกลุ่มเทอร์พีน (Terpene) ในเครื่องแกงเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็ว เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิสูงกว่าการต้มเคี่ยวปกติที่อุณหภูมิราว 100 °C จึงทำให้สารต้านอนุมูลอิสระสูญเสียสภาพไปเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้จากการพิจารณาผลการทดลองทั้งหมด แม้ว่าสภาวะที่ใช้อุณหภูมิขาเข้าต่ำ (140 °C) และมอลโทเดกซ์ทรินต่ำ (ร้อยละ 5) จะช่วยรักษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่า แต่สภาวะดังกล่าวให้ผลผลิตต่ำและผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง ไม่เหมาะสมจะนำไปใช้ผลิตในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาร่วมกับสมบัติทางกายภาพ ผลผลิต และการยอมรับของผู้สูงอายุ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่าคือ การใช้มอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 และอุณหภูมิขาเข้าที่ 150 °C เนื่องจากให้ผลผลิตสูง ละลายน้ำได้ดี โดยแม้จะสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการบางส่วนแต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติกายภาพที่ดีกว่าพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงที่สลับซับซ้อนนี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลร่วมระหว่าง การเสื่อมสลายด้วยความร้อน (Thermal degradation) และ ประสิทธิภาพการปกป้องของผนังห่อหุ้ม ในสภาวะที่ใช้มอลโทเดกซ์ทรินต่ำ (ร้อยละ 5-10) ความหนาของผนังห่อหุ้มไม่เพียงพอที่จะป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่แกนกลาง การใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจึงส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระที่ไวต่อความร้อนในเครื่องแกงถูกทำลายไปโดยตรง ค่าต้านอนุมูลอิสระจึงลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่สภาวะมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 ปริมาณสารพามากเพียงพอที่จะสร้าง

ตารางที่ 7 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่าที่ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและใช้อุณหภูมิขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน (%w/v)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (µg GAE/100g)	ORAC (µmol TE/100g)	FRAP (µmol TE/100g)
140	5	92.46±0.06^{b}	63.16±1.56^{a}	59.12±0.91^{a}
150	5	94.92±0.02^{a}	62.66±1.93^{b}	58.74±0.47^{a}
160	5	95.30±0.08^{a}	60.27±1.13^{c}	57.47±1.94^{b}
140	10	58.60±0.02^{d}	59.73±1.45^{c}	56.83±1.03^{bc}
150	10	59.38±0.06^{cd}	52.19±1.26^{d}	54.64±3.12^{d}
160	10	60.15±0.03^{c}	51.23±1.10^{d}	49.32±1.56^{e}
140	15	49.45±0.09^{f}	49.26±1.21^{e}	46.78±1.03^{f}
150	15	51.82±0.02^{f}	50.60±1.53^{de}	45.15±2.34^{f}
160	15	55.25±0.03^{e}	48.91±1.56^{ef}	43.85±4.69^{h}
140	20	42.71±0.03^{h}	46.53±1.41^{g}	42.09±0.78^{hi}
150	20	45.61±0.02^{g}	45.10±1.53^{g}	42.01±1.56^{i}
160	20	48.75±0.05^{f}	42.39±1.26^{h}	40.08±0.78^{j}

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรยกกำลังกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$), TPC = Total phenolic content, ORAC = Oxygen radical absorbance capacity, FRAP = Ferric reducing antioxidant power.

โครงสร้างห่อหุ้มสารสำคัญได้อย่างมิดชิด เมื่อใช้อุณหภูมิ 150 °C ความร้อนในระดับนี้ทำให้น้ำระเหยออกอย่างรวดเร็วจนเกิดเปลือกแข็งปกป้องแกนกลางได้ทันที โดยที่ความร้อนยังไม่ทันทะลุทะลวงเข้าไปทำลายสารสำคัญด้านใน (Microencapsulation protection) ส่งผลให้ค่า ORAC พุ่งสูงขึ้น แต่หากเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 160 °C พลังงานความร้อนจะสูงเกินกว่าที่ผนังห่อหุ้มจะทนทานได้ ทำให้ความร้อนทะลุผ่านเข้าไปทำลายโครงสร้างของสารต้านอนุมูลอิสระ อิทธิพลร่วมนี้จึงพิสูจน์ให้เห็นว่า การรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้ได้สูงสุด ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการใช้อุณหภูมิต่ำเสมอไป แต่ขึ้นอยู่กับการหาจุดสมดุลระหว่างอัตราการทำแห้งและความหนาของผนังแคปซูลที่เหมาะสม โดยสูตรที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 150 °C ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 มีคะแนนรสชาติ (7.82) ลักษณะปรากฏ (8.24) กลิ่นรส (7.88) และสี (7.92) ในระดับที่สูงที่สุด ผลการศึกษานี้อธิบายได้ว่าสภาวะดังกล่าวเป็นจุดสมดุล (Optimal point) ที่ดีที่สุด โดยมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 มีปริมาณที่เหมาะสมในการสร้างโครงสร้างห่อหุ้มกลิ่นรสของสมุนไพรไว้ได้โดยไม่ทำให้รสชาติเจือจางเกินไป และอุณหภูมิ 150 °C เป็นระดับความร้อนที่พอเหมาะในการทำให้น้ำระเหยออกได้หมดจดโดยไม่ทำให้เกิดสีคล้ำหรือเสียกลิ่นรส โดยสรุปสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่า คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 °C ร่วมกับการใช้มอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 เนื่องจากมีคะแนนความชอบโดยรวมของซุปกระดูกไก่ผงสูงสุด และมีคะแนนด้านรสชาติ ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นที่เป็นที่ยอมรับของผู้สูงอายุมากที่สุด

ตารางที่ 8 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่าที่ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและใช้อุณหภูมิขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน (%w/v)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
140	5	7.34±0.75^{c}	6.08±0.63^{fg}	6.72±0.70^{bcd}	6.58±0.64^{def}	6.84±0.55^{ef}
150	5	7.28±0.67^{c}	6.00±0.73^{g}	6.60±0.54^{bcd}	6.58±0.54^{def}	6.54±0.50^{g}
160	5	7.54±0.50^{bc}	6.70±0.50^{bcd}	6.92±0.49^{b}	7.02±0.38^{bc}	7.02±0.25^{de}
140	10	7.22±0.65^{c}	6.46±0.84^{cdef}	6.88±0.66^{bcd}	6.44±0.58^{ef}	7.16±0.42^{cd}
150	10	6.56±0.50^{d}	6.23±0.57^{efg}	6.56±0.50^{cd}	6.30±0.58^{f}	6.66±0.52^{fg}
160	10	7.76±0.48^{b}	6.62±0.49^{bcde}	6.90±0.51^{bc}	6.62±0.49^{def}	6.96±0.35^{de}
140	15	7.38±0.72^{bc}	6.72±0.57^{bc}	6.88±0.63^{bcd}	7.24±0.80^{b}	7.12±0.44^{de}
150	15	8.24±0.74^{a}	7.92±0.34^{a}	7.88±0.39^{a}	7.82±0.39^{a}	8.12±0.44^{a}
160	15	7.32±0.74^{c}	6.32±0.77^{defg}	6.54±0.71^{d}	6.68±0.59^{cde}	6.84±0.37^{ef}
140	20	6.68±0.59^{d}	7.92±0.34^{a}	6.88±0.63^{bcd}	7.10±0.54^{b}	7.48±0.54^{b}
150	20	7.32±0.74^{c}	6.88±0.63^{b}	7.92±0.34^{a}	6.44±0.58^{ef}	7.12±0.44^{de}
160	20	7.36±0.72^{bc}	6.66±0.52^{bcde}	7.92±0.34^{a}	6.88±0.63^{bcd}	7.42±0.50^{bc}

ค่าแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 50) ประเมินด้วยเกณฑ์ 9-point hedonic scale (1 = ชอบน้อยที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรยกกำลังกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมไก่สดแช่แข็ง โดยการนำเท้าไก่มาสกัดเป็นซุปกระดูกที่สภาวะ 85 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 25.11 เมื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่าที่ปราศจากพริกไทย และทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 °C ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 15 พบว่าผลิตภัณฑ์มีสมบัติทางกายภาพที่ดี มีความสามารถในการละลายและการกระจายตัวที่ดี มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุในระดับสูง ในเชิงพาณิชย์กระบวนการผลิตที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการขยายขนาดสู่ระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตอาหารผง และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาสะดวกต่อการจัดเก็บ ขนส่ง และการเตรียมบริโภค ผลิตภัณฑ์นี้จึงมีแนวโน้มที่จะตอบสนองความต้องการของตลาดอาหารสะดวกบริโภคและผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ ในด้านโภชนาการซุปกระดูกไก่ผงรสแกงป่าเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนเสริมจากมื้ออาหารหลักสำหรับผู้สูงอายุ โดยอยู่ในรูปแบบผงชงดื่มที่สะดวกต่อการบริโภค และมีรสชาติที่คุ้นเคยซึ่งอาจช่วยส่งเสริมความอยากอาหารได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของนวัตกรรมอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ทั้งในมิติของความสะดวก คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับของผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางสำนักงานวิจัยแห่งชาติ และคุณทิพธิดา สุขุม กรรมการ บริษัท เดอะ บรอธ แล็บ

จำกัด ที่สนับสนุนทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม สำหรับดำเนินงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยได้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. ธุรกิจร้านอาหารและร้านเครื่องดื่มปี 2568 คาดโตแค่ 2.8% เศรษฐกิจซบกระทบการใช้จ่าย ตลาดนักท่องเที่ยวต่างชาติเสี่ยงไม่โต [อินเทอร์เน็ต]. 2568 [เข้าถึงเมื่อ 28 ธันวาคม 2568]. เข้าถึงได้จาก: https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/IAO132-Restaurant-Industry-FB-2025-05-23.aspx
2. วิจัยกรุงศรี. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2569–2571: อุตสาหกรรมอาหารพร้อมทาน [อินเทอร์เน็ต]. 2568 [เข้าถึงเมื่อ 28 ธันวาคม 2568].เข้าถึงได้จาก: https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/food-beverage/ready-to-eat-food/io/ready-to-eat-food-2026-2028
3. บังอร บุญชู, นิภาพร ชนะคง, กมลกาญจน์ จิญกาญจน์. คุณค่าทางโภชนาการของน้ำซุป. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2551;177:43-9.
4. Kim MS. The effect on the nutrition value of beef leg and rib bone soup by boiling time. J Korean Soc Food Cult. 2006;21(2):161-5.
5. เพนิตา สุวรรณน้อย. คอลลาเจน เคล็ดลับความอ่อนเยาว์ [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 30 กันยายน 2567]. เข้าถึงได้จาก: https://pharm.tu.ac.th/uploads/pharm/pdf/articles/20190328_022.pdf
6. Masters K. Spray drying handbook. 3rd ed. New York: Halsted Press; 1979. 687 p.
7. กัลยานี โสมนัส. การผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบโฟมและแบบพ่นฝอย [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2540.
8. Ergezer H, Karabagias Y, Ozturk O. Production of bone broth powder with spray drying using three different carrier agents. Korean J Food Sci Anim Resour. 2018;38(6):1273-85. doi: 10.5851/kosfa.2018.e63
9. ศรีโสภา เรื่องหนู, รุจิลักขณ์ รัตตะรมย์, อรุณพร อิฐรัตน์. ฤทธิ์ความเป็นพิษของผักพื้นบ้านไทยต่อเซลล์มะเร็งเต้านม และมะเร็งต่อมลูกหมาก. Thammasat Medical Journal. 2019;19(1):70-8.
10. AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 22nd ed. Rockville, MD: AOAC International; 2023.
11. ศรีสมร คงพันธุ์. สิบยอดอาหารไทยในต่างแดน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด; 2549.
12. นิดดา หงษ์วิวัฒน์. อาหารไทยรสเผ็ด. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด; 2549.
13. นิดดา หงษ์วิวัฒน์. อาหารไทยสารพัดแบบ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด; 2549.
14. Jinapong N, Suphantharika M, Jamnong P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. J Food Eng. 2008;84(2):194-205. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032
15. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. Anal Biochem. 1996;239:70-6. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292
16. Ou B, Hampsch-Woodill M, Prior RL. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the

fluorescent probe. J Agric Food Chem. 2001;49(10):4619-26. https://doi.org/10.1021/jf010586o

17. Yue JY, Wang JZ, Zhang CH, Jia W, Li X, Sun Z. Effects of hot-pressure extraction time on composition and gelatin properties of chicken bone extracts. J Food Sci. 2017;82(5):1066-75. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13687
18. Hashim P, Mohd Ridzwan MS, Bakar J. Isolation and characterization of collagen from chicken feet. Int J Biol Biomol Agric Food Biotechnol Eng. 2014;8:250-4. https://zenodo.org/records/1091484
19. Widyasari R, Rawdkuen S. Extraction and characterization of gelatin from chicken feet by acid and ultrasound assisted extraction. J Food Appl Biosci. 2014;2(1):83-95. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/fabjournal/article/view/77404
20. Hussein RH, Abd Elgadir M, Mariod AA, Alnughaymishi I. Extraction and physicochemical properties of gelatin from chicken feet of different ages and its effect on sensory evaluation of the developed yogurt. Front Sustain Food Syst. 2025;9:1614286. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1614286
21. Fatima S, Mir MI, Khan MR, Sayyed RZ, Mehnaz S, Abbas S, et al. The optimization of gelatin extraction from chicken feet and the development of gelatin-based active packaging for the shelf-life extension of fresh grapes. Sustainability. 2022;14(13):7881. https://doi.org/10.3390/su14137881
22. Inchuen S, Pornchaloempong P, Narkrugsa W, Tungkananuruk K. Influence of heat treatment on antioxidant capacity and color of Thai red curry paste. Kasetsart J Nat Sci. 2011;45:136-46. https://www.thaiscience.info/journals/Article/TKJN/10898255.pdf
23. Zhang L, Zeng X, Fu N, Tang X, Sun Y, Lin L. Maltodextrin: A consummate carrier for spray-drying of xylooligosaccharides. Food Research International. 2018;106:383–393. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.004
24. Cai YZ, Corke H. Production and properties of spray-dried amaranthus betacyanin pigments. J Food Sci. 2000;65(6):1248-52. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x
25. Santhalakshmy S, Don Bosco SJ, Francis S, Sabeena M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. Powder Technol. 2015;274:37-43. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016
26. Hanis Mastura Y, Hasnah H, Nurul Huda A. Total phenolic content and antioxidant capacities of instant mix spices cooking pastes. Int Food Res J. 2017;24(1):68-74. http://www.ifrj.upm.edu.my/24%20(01)%202017/(7).pdf