Published Online: 24 Dec 2021

การพัฒนาตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดบรอกโคลี

Formulation of Hydrogel Containing Broccoli Extracts

สุกัญญา น้อยจันทร์

อีเมล: 6151701292@lamduan.mfu.ac.th

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ดร.นภัตสร ดิษฐาวุฒิกุล

อีเมล: naphatsorn.kum@mfu.ac.th

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารสำคัญรวม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระตลอดจนการตั้งตำรับไฮโดรเจลของสารสกัดจากบรอกโคลีสายพันธ์ท็อปกรีน พบว่า สารสกัดที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดสีเขียวเข้ม มีกลิ่นคล้าย ๆ ใบชาต้ม มีปริมาณสารสำคัญแบ่งเป็นฟีนอลิกรวม 3.69 ± 0.10 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อปริมาณสารสกัด 1 กรัม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม 215.00 ± 3.80 มิลลิกรัมสมมูลของเควอซิตินต่อปริมาณสารสกัด 1 กรัม มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากการประเมินด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระของดีพีพีเอช สารสกัดจากบรอกโคลีที่ได้มีค่าการกำจัดอนุมูลอิสระที่ร้อยละ 50 เท่ากับ 0.55 ± 0.03 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งมีฤทธิ์น้อยกว่า วิตามินซี ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน เมื่อนำสารสกัดไปตั้งตำรับไฮโดรเจล พบว่าตำรับที่ใช้สูตรผสมของ Polyacrylamide, C13-14 Isoalkane และ Laureth-7 เป็นสารเพิ่มความหนืดที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นสารเพิ่มความหนืดเข้ากับสารสกัดบรอกโคลีได้ดีเพราะเป็นสารที่ไม่ทำให้ตำรับพื้นฐานเหลวเกินไปแม้เมื่อผ่านสภาวะเร่ง ส่วนความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในสูตรดังกล่าวคือ ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีความคงตัวที่ดีที่สุด เมื่อทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัคร 20 คน พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจในตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดบรอกโคลี ไม่ต่างจากตำรับพื้นฐาน จากผลการทดลองทั้งหมดจึงกล่าวได้ว่าสารสกัดบรอกโคลีมีความเหมาะสมและมีศักยภาพในการใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบไฮโดรเจล

คำสำคัญ: บรอกโคลี, ฟลาโวนอยด์, ฟีนอลิก, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, เครื่องสำอาง, ไฮโดรเจล

Abstract

This study aimed to evaluate the quantity of active phytochemicals and free radical scavenging activity of broccoli, top green variety, extract. Formulation of hydrogels containing broccoli extract was also evaluated. Obtained extract occurred as a dark green viscous liquid, with brewed tea odor. The extract contained total phenolic content at 3.69 ± 0.10 mg gallic acid equivalent/g extract and total flavonoid content at 215.00 ± 3.80 mg quercetin equivalent/g extract. Free radical scavenging activity of the extract, when evaluated by DPPH radical scavenging assay, has the concentration that scavenged 50% of free radicals (SC_{50}) at 0.55 ± 0.03 mg/ml. This activity was lower than vitamin C. When formulated into hydrogel, the results shown that the formula that contained a combination of polyacrylamide, C13-14 isoalkane and Laureth-7 at concentration 1.5% w/w as a thickening agent showed good compatibility with broccoli extract. This combination tolerated to the extract even after accelerated stability study. The optimum concentration of broccoli extract that can be incorporated into the hydrogel was at 0.1% w/w. This formula had the best viscosity stability when undergoing accelerated conditions. Preference test for this formula was conducted in 20 volunteers, comparing with the base formula. The formulation that contained broccoli extract had similar preferences score to the base formulation. All of these results suggested that broccoli extract might be suitable and had a potential for using in hydrogel products.

Keywords: Broccoli, Flavonoid, Phenolic, Antioxidant, Cosmetics, Hydrogel

หลักการและเหตุผล

บรอกโคลี (*Brassica oleracea* var. *italica*) จัดอยู่ในวงศ์ Brassicaceae มีแหล่งกำเนิดในแถบประเทศฝั่งตะวันออกของเมดิเตอร์เรเนียนในทวีปยุโรป แถบประเทศอิตาลี และปลูกมากในแถบประเทศเอเชียและอเมริกาเหนือ และภายหลังได้มีการนำมาปลูกในประเทศไทย (Puechkaset, 2559) มีการศึกษาพบว่าบรอกโคลีเมฤทธิ์ในการยับยั้งและต้านอนุมูลอิสระที่สูง โดยมีรายงานว่าสารสกัดจากบรอกโคลีที่สกัดด้วยเมทานอล ที่ความเข้มข้น 4 mg/ml มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับ 2 mg/ml ของสารละลาย butylated hydroxyanisole (BHA) และ α-tocopherol ในเมทานอล โดยส่วนของลำต้นและดอกจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าส่วนของใบ (Guo et al., 2001)

ปัจจุบันตลาดภายในประเทศไทยมีการนำบรอกโคลีมาใช้ประโยชน์ทางด้านโภชนาการและนำสารสกัดมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในการให้สรรพคุณบำรุงสุขภาพในรูปแบบต่าง ๆ อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง (Daruwan, C., 2563)

จากการสำรวจพบว่าผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจลบำรุงผิวหน้าที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากผักบรอกโคลีในประเทศไทยนั้นยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้นและทดลองตั้งตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากบรอกโคลีโดยมีเป้าหมายว่าบรอกโคลีอาจเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่มีความสนใจในเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของสารสกัดที่มาจากธรรมชาติ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดบรอกโคลี จัดซื้อบรอกโคลีสายพันธุ์ท็อปกรีนจากตลาดสวนผัก 32 (กรุงเทพฯ, ประเทศไทย) ในช่วงเดือนสิงหาคม 2563 ก่อนนำส่วนดอกและลำต้นมาล้างน้ำให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วนำไปผึ่งลมไว้ให้แห้ง ก่อนนำไปอบลมร้อนด้วย hot air oven ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน จนแห้ง หลังจากนั้นนำมาปั่นละเอียดด้วยเครื่องบดและสกัดด้วยวิธีหมักแช่ด้วยเอทานอล 95% โดยการเขย่าด้วยเครื่อง incubator shaker นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนนำมากรองด้วยกระดาษกรอง แล้วระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่ 45 องศาเซลเซียส จนได้สารสกัดหยาบ จดบันทึกลักษณะและคำนวณหาร้อยละการสกัด (Abdul et al, 2009)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry โดยใช้สารตัวอย่างนำมาเติม สารละลาย Folin-Ciocalteu reagent (10% w/w) ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (7.5% ww) เขย่าแล้วเก็บไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer นำค่าที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกเพื่อคำนวณหาค่า mg gallic acid equivalent / g crude extract (mg GAE / g crude extract)

3. การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี Aluminium Chloride Colorimetry โดยนำสารตัวอย่าง 0.5 mlใส่ในน้ำกลั่น 2.2 ml ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที เติม สารละลาย sodium nitrite; $NaNO_2$ (5% w/w) ตั้งทิ้งไว้ 6 นาทีก่อนเติมสารละลาย aluminium chloride เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที และเติม sodium hydroxide (1 M) ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน quercetin แสดงผลเป็น

mg quercetin equivalent / g crude extract (mg QE/g crude extract) (ดัดแปลงจากพรชัย หาระโคตร และคณะ, 2561)

4. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay โดยเตรียมสารละลาย DPPH ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.2 mM และเตรียมสารสกัดบรอกโคลีที่ความเข้มข้น 1000 ppm ในเอทานอล จากนั้นเจือจางสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้น ในช่วง 10 - 1000 ppm ในหลอดทดลอง และเติม DPPH ลงไปในสารละลายที่เตรียมไว้ ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที ก่อนนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm จากนั้นทำการคำนวณ %radical scavenging และคำนวณหาค่า scavenging concentration 50 (SC_{50}) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ascorbic acid (สุชาดา มานอก, 2558)

5. การพัฒนาตำรับไฮโดรเจลของสารสกัดผักบรอกโคลี และการประเมินตำรับที่ได้

พัฒนาตำรับพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนา โดยเปรียบเทียบพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เพิ่มความหนืดในตำรับ 3 ชนิด ได้แก่ acrylates/C10-30 alkyl acrylate crosspolymer (Carbopol 20), hydroxyethylcellulose (HEC) และสูตรผสมของ polyacrylamide, C13-14 isoalkane, และlaureth-7 (Sepigel 305) ในความเข้มข้นที่เหมาะสม หลังจากนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกสูตรตำรับพื้นฐานที่เหมาะสม มาเติมสารสกัดบรอกโคลี ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกัน 3 ตำรับ ตาม SC_{50} ของสารสกัด ทั้งนี้การประเมินความเหมาะสมของตำรับ ใช้การทดสอบความคงตัวของตำรับในสภาวะเร่ง

การทดสอบความคงตัวของตำรับในสภาวะเร่ง ใช้วิธี Heating-cooling cycle test โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูง 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง สลับกับการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ ทำซ้ำ 5 รอบ จากนั้นประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการสังเกตความหนืด สี กลิ่น การแยกชั้น และ ค่า pH ซึ่งการวัดความหนืดทำได้โดยใช้เครื่อง viscometer และการวัดสีทำได้โดยใช้เครื่อง colorimeter นอกจากนี้ยังใช้การประเมินลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น ด้วยประสาทสัมผัสร่วมด้วย

6. การประเมินความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัคร

ทำโดยใช้อาสาสมัครเพศหญิงจำนวน 20 คนซึ่งเป็นผู้ที่มีสุขภาพดีช่วงอายุระหว่าง 25-55 ปี ด้วยวิธี accidental sampling โดยกำหนดให้ตำรับไฮโดรเจลที่ไม่มีส่วนประกอบของบรอกโคลีให้เป็นสูตรที่ 1 และตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนประกอบของบรอกโคลีที่เหมาะสมให้เป็นสูตรที่ 2 ปรับสีของตำรับให้เหมือนกัน เพื่อให้อาสาสมัครจะไม่ทราบว่าตำรับไหนคือสูตรอะไร

วิธีทดสอบให้อาสาสมัครกดเจลจากขวดปั๊ม จำนวน 1 ปั๊ม ลงบนท้องแขน แล้วทาเกลี่ยกระจายนวดคลึงให้ทั่วผิวจนหมด ซึ่งอาสาสมัครจะประเมินความพึงพอใจต่อคุณสมบัติ 6 ด้าน ได้แก่ สี กลิ่น ความหนืด การเกลี่ยและสัมผัสขณะเกลี่ย สัมผัสหลังใช้และความชุ่มชื้น ความ

พึงพอใจโดยรวม โดยแบ่งคะแนนความพึงพอใจเป็น 5 คะแนน โดย 1 หมายถึง ไม่ชอบมาก 2 หมายถึง ไม่ชอบ 3 หมายถึง ปานกลาง 4 หมายถึง ชอบ 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด

ผลวิจัย

1. การสกัดบรอกโคลี

จากการทดลอง สารสกัดจากบรอกโคลีที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดสีเขียวเข้ม มีกลิ่นคล้าย ๆ ใบชาต้ม โดยมีร้อยละของการสกัดที่ได้เท่ากับ 8.48 ± 0.62 เมื่อเทียบกับน้ำหนักพืชสด

2. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม

บรอกโคลีที่สกัดด้วยเอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ 40.94 ± 1.13 mg GAE/g extract ซึ่งมากกว่าบรอกโคลีที่สกัดด้วยการต้มในน้ำบริสุทธิ์จนเดือดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม 13.5± 0.3 - 24.3 ± 1.1 mg GAE / g extract จากงานวิจัยของ Aires และคณะ (2011)

3. การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม

การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์คำนวณโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน quercetin พบว่าสารสกัดบรอกโคลีที่สกัดด้วยเอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบ ฟลาโวนอยด์รวมทั้งหมดที่ 215.00 ± 3.80 mg QE/g extract

4. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดบรอกโคลีด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าสารสกัด บรอกโคลีที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.55 ± 0.03 mg/ml ในขณะที่วิตามินซี (ascorbic acid) มีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.0029 ± 0.01 mg/ml

5. ผลการตั้งตำรับพื้นฐาน base hydrogel และการประเมินตำรับที่ได้

ในขั้นตอนแรกเป็นการคัดเลือกหาสารก่อเจลที่เหมาะสม โดยกำหนดให้สูตร F1 ใช้ acrylates/C10-30 alkyl acrylate crosspolymer เป็นสารเพิ่มความหนืด สูตร F2 ใช้ hydroxyethylcellulose (HEC) เป็นสารเพิ่มความหนืด และสูตร F3 ใช้สูตรผสมของ polyacrylamide, C13-14 isoalkane, และLaureth-7 เป็นสารเพิ่มความหนืด ดังตารางที่ 1 พบว่า F1 มีเนื้อใส มีความหนืดเหมาะสมแต่เมื่อใส่สารสกัด บรอกโคลีและนำมาผ่านสภาวะเร่ง ความหนืดกลับลดลงอย่างมากจนเหลวและไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นสูตรเซรั่ม เช่นเดียวกับ สูตรพื้นฐาน F2 ที่ให้เนื้อที่ใส แต่ความหนืดน้อยเนื้อเหลวยิ่งกว่า F1 ในขณะที่ F3 เมื่อนำมาใส่สารสกัดและผ่านสภาวะเร่ง สามารถให้ความหนืดที่เหมาะสมกับสารสกัดมากกว่า F1 ที่เหลวกว่า นอกจากนี้ สูตร F3

มีค่าความเป็นกรดด่างเหมาะสมกว่า F1 และ F2 โดย F1 มีค่า pH 4.17 ± 0.29 ส่วน F2 มีความเป็นกรดสูงกว่า F1 ในขณะที่ F3 มี pH 6.01 ± 0.01 ซึ่งเหมาะกับสารสกัดบรอกโคลีที่มีความเป็นกรดมาก คือมี pH ของสารสกัดในน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ0.05 เท่ากับ 4.22 ± 0.01, ร้อยละ 0.1 ในน้ำเท่ากับ 4.19 ± 0.02,ร้อยละ0.5 เท่ากับ 3.98 ± 0.01 จึงใช้ สูตรผสมของ polyacrylamide, C13-14 isoalkane, และ laureth-7 เป็นสารเพิ่มความหนืดในการพัฒนาตำรับ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Infante และคณะ (2019) ที่ศึกษาพบสารดังกล่าวเป็นสารเพิ่มความหนืดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่ไม่ทำให้วัตถุดิบในสูตรเปลี่ยนแปลงไปทำให้เหมาะในการใช้พัฒนาสูตร

ตารางที่ 1 ตารางสูตรตำรับพื้นฐานแยกตามสารเพิ่มความหนืด

สารในตำรับ	**สูตรตำรับ (% w/w)**		
	F1	**F2**	**F3**
Carbopol 20	0.1	-	-
HEC	-	0.5	-
Sepigel 305	-	-	0.5
DI water	qs	qs	qs
Glycerin	3	3	3
Polysorbate 20	0.3	0.3	0.3
Perfume	0.03	0.03	0.03
Phenoxyethanol	1	1	1
Triethanolamine	0.03	0.03	0.03

หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงใช้สูตรผสมของสารดังกล่าว มาตั้งตำรับโดยเลือกปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.5% w/w, 1% w/w, 1.5% w/w, ตั้งเป็นสูตร F3S1, F3S2 และ F3S3 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเพิ่มความหนืด พบว่า สูตร F3S1 ลักษณะเนื้อนุ่มลื่น ไม่เหนียวเหนอะหนะ มีเนื้อใส ไม่มีฟองอากาศ มีเนื้อที่เหลว มีค่า pH เท่ากับ 6.01 ± 0.01 สูตร F3S2 มีลักษณะเนื้อนุ่มลื่น ไม่เหนียวเหนอะหนะ มีเนื้อใส มีฟองอากาศ มีเนื้อที่เหลวพอดี มีค่า pH เท่ากับ 6.21±0.09 ส่วนสูตร F3S3 มีลักษณะเนื้อนุ่มลื่นเนียน ไม่เหนียวเหนอะหนะ มีความชุ่มชื้น มีเนื้อใส มีฟองอากาศ มีเนื้อที่หนืดมาก มีค่า pH เท่ากับ 6.00 ± 0.01 จากนั้นนำตำรับทั้ง 3 สูตรมาทดสอบทางกายภาพและทดสอบความคงตัวภายใต้สภาวะเร่ง พบว่าสูตร F3S1 F3S2 และ F3S3 ก่อนและหลังทดสอบ สี เนื้อสัมผัส และความหนืดไม่

เปลี่ยนแปลงไม่เกิดการแยกชั้นในเนื้อไฮโดรเจล และพบว่า F3S1 ค่า pH ก่อนทดสอบ เท่ากับ 6.01 ± 0.01 เพิ่มขึ้นเป็น pH เท่ากับ 7.44 ± 0.01 สูตร F3S2 ค่า pH ก่อนทดสอบ เท่ากับ 6.21 ± 0.09 ลดลงเป็น pH เท่ากับ 6.05 ± 0.01 ค่า pH และในสูตร F3S3 ค่า pH ก่อนทดสอบ 6.00 ± 0.01 ลดลงเป็น pH เท่ากับ 5.61 ± 0.07 จะเห็นได้ว่า สภาวะอุณหภูมิในการเก็บสลับร้อนเย็นในการทดสอบความคงตัว มีผลทำให้ pH เปลี่ยนแปลงได้

ตารางที่ 2 ตำรับพื้นฐาน Base Hydrogel F3S1, F3S2 และ F3S3 ที่พัฒนาขึ้นจาก Sepigel 305

Phase	สารในตำรับ	สูตรตำรับ (% w/w)		
		F3S1E1	**F3S2E2**	**F3S3E3**
A	Sepigel 305	0.5	1	1.5
	DI water	qs	qs	qs
	Glycerin	3	3	3
B	Polysorbate 20	0.3	0.3	0.3
	Perfume	0.03	0.03	0.03
	Phenoxyethanol	1	1	1
C	Triethanolamine	0.03	0.03	0.03

จากการพัฒนาตำรับทั้ง 3 สูตร ลักษณะของสูตรก่อนและหลังผ่านสภาวะเร่ง ไม่แตกต่างกันมากนัก ผู้วิจัยจึงเลือกสูตร F3S3 มาเป็นตำรับพื้นในการพัฒนาต่อ โดยผู้วิจัยเห็นว่าเนื้อสัมผัสของสูตรมีความเหมาะสม มีความคงตัวดีที่สุดเมื่อใส่สารสกัด โดยนำสูตร F3S3 มาเติมสารสกัดบรอกโคลี ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกัน 3 ตำรับ ตาม SC_{50} ของสารสกัดที่มีค่าประมาณ 0.5 mg/ml จึงได้ความเข้มข้นของบรอกโคลีที่ร้อยละ 0.05% w/w เป็นสูตร F3S3E1 , 0.1% w/w เป็นสูตร F3S3E2 และ 0.5% w/w เป็นสูตร F3S3E3 ดังตารางที่ 3 พบว่า เมื่อเติมสารสกัดลงไปในปริมาณที่มากขึ้นจะได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจลที่มีสีเข้มขึ้น แปรผันตามปริมาณของสารสกัดที่เพิ่มมากขึ้น และกลิ่นของสารสกัดบรอกโคลีเพิ่มมากขึ้นด้วย จากนั้นจึงประเมินลักษณะทางกายภาพคือ สี, กลิ่น, ความหนืด, เนื้อสัมผัส ภายใต้สภาวะเร่ง พบว่า สี กลิ่น เนื้อสัมผัส ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนความหนืดของผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจลทั้ง 3 ตำรับ มีค่าความหนืดก่อนและหลังการทดสอบที่แตกต่าง

กัน (p value < 0.001) ก่อนทดสอบภายใต้สภาวะเร่ง สูตร F3S3E1 มีค่าความหนืดมากสุด 7602.67 ± 4.62 cPs สูตร F3S3E2 มีค่าความหนืดปานกลาง 4544.00 ± 0.00 cPs และสูตร F3S3E3 มีความหนืดน้อยที่สุด 3840.00 ± 0.00 cPs จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดที่ได้แปรผกผันกับความเข้มข้นของสารสกัด โดยถ้าใช้สารสกัดในความเข้มข้นที่สูงจะทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อผ่านสภาวะเร่ง สูตร F3S3E1 มีค่าความหนืดลดลง 76.31% สูตร F3S3E2 มีค่าความหนืดลดลง 48.06 % และสูตร F3S3E3 มีความหนืดลดลง 48.26% แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน F3S3 ที่ค่าความหนืดเมื่อผ่านสภาวะเร่งลดลงเพียงแค่ 0.28% เท่านั้น ค่าความหนืดที่วัดได้ ก่อนและหลังการผ่านสภาวะเร่งใช้เครื่อง Brookfield viscometer ในการวัด ใช้เข็มเบอร์ 4 ความเร็วรอบ 25 rpm ที่อุณหภูมิ 28 ℃

ตารางที่ 3 ตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดบรอกโคลี

Phase	สารในตำรับ	สูตรตำรับ (% w/w)		
		F3S1E1	**F3S2E2**	**F3S3E3**
A	Sepigel 305	1.5	1.5	1.5
	DI water	qs	qs	qs
	Glycerin	3	3	3
B	Polysorbate 20	0.3	0.3	0.3
	Perfume	0.03	0.03	0.03
	Phenoxyethanol	1	1	1
C	Triethanolamine	0.03	0.03	0.03
D	Broccoli extract	0.05	0.1	0.5

ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบภายใต้สภาวะเร่ง pH ของ F3S3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผ่านสภาวะเร่ง ($p < 0.05$) โดยสภาวะเร่งทำให้เนื้อเจลที่เป็นตำรับพื้นมีสภาวะเป็นกรดมากขึ้น เช่นเดียวกับสูตรที่ใส่สารสกัดลงในตำรับพื้น F3S3E1, F3S3E2 และ F3S3E3 เมื่อผ่านสภาวะเร่งความเป็นกรดของเจลก็มากขึ้นเช่นกัน ($p < 0.001$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการสลายตัวของสารประกอบชนิดอื่นที่ไม่ใช่กรดในสูตรมีมากกว่าการสลายตัวของสารประกอบที่เป็นกรด

เมื่อวัดสีสูตรตำรับพื้นฐานและสูตรที่ใส่สารสกัดด้วยเครื่องวัดสี colorimeter ที่แสดงค่าสีเป็น L^*, a^*, b^* พบว่า ในสูตรตำรับพื้นฐาน สีก่อนและหลังผ่านสภาวะเร่งมีความแตกต่างกัน ($p < 0.01$) โดยเมื่อผ่านสภาวะเร่ง สูตรตำรับพื้นฐานมีความสว่างมากขึ้น มีความเป็นสีแดงมากขึ้นเล็กน้อยและมีความเป็นสีเหลืองลดลงเล็กน้อย การใส่สารสกัดในสูตรตำรับพื้นฐานจะทำให้สีเขียวและสีเหลืองเพิ่มขึ้น ($p < 0.001$) และเมื่อผ่านสภาวะเร่ง ความสว่างในสูตรจะสว่างขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ ($p < 0.001$) และมีความเป็นสีเหลืองลดลง ($p < 0.01$) ในขณะที่ความเป็นสีแดงไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 1 ที่เป็นภาพก่อนและหลังผ่านสภาวะเร่ง จะเห็นได้ว่าไม่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นได้

ภาพที่ 1 ตำรับ F3S3E1 F3S3E2 และ F3S3E3 เรียงตามลำดับ ก่อน(ซ้าย) และหลัง(ขวา)ผ่านสภาวะเร่ง

แม้ว่าเมื่อผ่านสภาวะเร่งแล้วจะทำให้สีเปลี่ยนแปลงไป แต่ก็ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การเปลี่ยนแปลงของสีจึงไม่ใช่ปัจจัยสำคัญในการเลือกความเข้มข้นของสารสกัดไฮโดรเจล สิ่งที่มีผลต่อการเลือกความเข้มข้นของสารสกัดในตำรับคือ ค่าความหนืด ไฮโดรเจลที่ใช้กับใบหน้าไม่ควรมีความเหลวมากนักจนไหลเยิ้มเวลาใช้ สูตรที่มีความหนืดเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดแม้จะผ่านการทดสอบความคงตัวแล้วคือ สูตร F3S3E2 ผู้วิจัยจึงเลือกสูตร F3S3E2 เพียงสูตรเดียวไปทดสอบความพึงพอใจกับอาสาสมัครเทียบกับสูตรพื้นฐาน F3S3

6. การประเมินความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัคร

ผลการทดสอบความพึงพอใจของอาสาสมัคร พบว่า ความพึงพอใจทั้ง 6 ด้านของอาสาสมัครต่อผลิตภัณฑ์ทั้งสอง ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่เป็นเช่นนี้เพราะอาจเป็นไปได้ว่าอาสาสมัครไม่สามารถแยกได้ระหว่างตำรับพื้นฐาน F3S3 และตำรับพื้นฐานที่มีสารสกัดบรอกโคลี F3S3E2 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ตำรับพื้นฐานกับตำรับพื้นฐานที่สารสกัดสร้างความพอใจให้แก่ผู้ใช้ไม่แตกต่างกันเมื่อทดสอบด้วยระเบียบวิธีทางสถิติ

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ (Discussion and Suggestion)

สารสกัดบรอกโคลี่จากสายพันธ์ท็อปกรีน เมื่อสกัดด้วยการหมักแช่ในเอทานอล เขย่าด้วยเครื่อง incubator shaker 150 รอบ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดสีเขียวเข้ม มีกลิ่นคล้าย ๆ ใบชาต้ม มีปริมาณสารสำคัญแบ่งเป็น ฟีนอลิกรวม 40.94± 1.13 mg GAE /g extract และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม 215.00 ± 3.80 mg QE/g extract มี

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อหาด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay มีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.55 ± 0.03 mg/ml ซึ่งมีฤทธิ์น้อยกว่า ascorbic acid ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน โดย ascorbic acid มีค่า SC_{50} เท่ากับ 0.0029 ± 0.00 mg/ml

การพัฒนาตำรับไฮโรเจลที่เหมาะสม สามารถเข้ากับสารสกัดบรอกโคลีได้ดี และเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค โดยในงานวิจัยนี้ได้สูตรผสมของ polyacrylamide, C13-14 isoalkane, และ laureth-7เป็นสารเพิ่มความหนืด ที่ความเข้มข้น 1.5 %w/w ซึ่งมีเนื้อสัมผัสดีที่สุด เมื่อพิจารณาทั้งก่อนและหลังผ่านสภาวะเร่ง

ปริมาณของสารสกัดบรอกโคลีที่เหมาะสมที่ใส่ในตำรับดังกล่าว คือ ที่ความเข้มข้น 0.1% w/w เพราะมีความคงตัวของค่าความหนืดเมื่อผ่านสภาวะเร่งดีกว่าที่ความเข้มข้นของสารสกัด ที่ 0.05% w/w และ 0.5% w/w ตามลำดับ

การทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัคร 20 คน ผลของการทดสอบความพึงพอใจในอาสาสมัคร โดยให้เปรียบเทียบความพึงพอใจในสูตรตำรับพื้นฐาน F3S3 กับสูตรตำรับที่ใส่บรอกโคลี F3S3E2 0.1% w/w พบว่า อาสาสมัครมีความพึงพอใจใน 6 ด้านได้แก่สี กลิ่น ความหนืด การเกลี่ยและสัมผัสขณะเกลี่ย สัมผัสหลังใช้และความชุ่มชื้น และความพึงพอใจโดยรวม ระหว่างสูตร F3S3 ตำรับพื้นฐาน กับ F3S3E2 ตำรับพื้นฐานที่ใส่สารสกัดบรอกโคลี 0.1% w/w ที่ไม่แตกต่างกัน

จากงานวิจัยของ Aires et al. (2011) ที่พบว่า ฤดูเก็บเกี่ยวมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ และ L-ascorbic acid ในพืช โดยฤดูฝนถึงฤดูหนาวมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารสำคัญในพืชให้มีมากกว่าฤดูใบไม้ผลิถึงฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญ หรืองานวิจัยของ Kosewski et al. (2018) ศึกษาพบว่าบรอกโคลี เมื่อผ่านการใช้หม้อนึ่งสุญญากาศจะช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ ดังนั้นเพื่อให้ทราบปริมาณ ฟีนอลิกรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของสารสกัดบรอกโคลีได้ดียิ่งขึ้น จึงควรศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและความคงตัวของสารสกัดบรอกโคลีในรูปแบบอื่น ๆ เช่น บรอกโคลีที่ปลูกในฤดูกาลที่ต่างกัน หรือการศึกษาระหว่างบรอกโคลีสดและ บรอกโคลีที่ผ่านการสกัดในสภาวะสุญญากาศ (Sous-vide technique) เป็นต้น ตลอดจนศึกษาการปนเปื้อนเชื้อของสารสกัด เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำสารสกัดบรอกโคลีไปใช้ประโยชน์ต่อไป นอกจากนี้ควรทดลองตั้งตำรับรูปแบบอื่น ๆ ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากบรอกโคลี เพื่อรองรับความต้องการที่หลากหลายของผู้บริโภค และศึกษาถึงข้อจำกัดในการนำสารสกัดบรอกโคลี่ไปใช้งานในตำรับรูปแบบอื่น ๆ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ปรานอม ธรรมศิริ. (2555). *การวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในยาดองและสมุนไพรประกอบยาดอง*. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรศึกษา. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

พรชัย หาระโคตร, วาสนา หวายพิมาย, เยาวพา จิระเกียรติกุล และภาณุมาศ ฤทธิไชย. (2561) ปริมาณแคโรทีนอยด์ ซัลโฟราเฟน, สารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไมโครกรีนผักพื้นเมืองวงศ์กะหล่ำ. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 10*(3), 108-117

วรพร ศีลศร. (2554). *การเตรียมสารสกัดมาตรฐานกล้วยไม้หวายม่วงแดงเพื่อใช้ประโยชน์ในทางเครื่องสำอาง*. การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, เชียงราย.

สุชาดา มานอก และปวีณา ลิ้มเจริญ. (2558) การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดสมุนไพรในตำรับยาหอมเทพจิตร. *วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, 15*(1), 106 – 117

Aires, A., Fernandes, C., Carvalho, R., Bennett, R. N., . . . Rosa, E. A. S. (2011). Seasonal Effects on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Six Economically Important Brassica Vegetables. *Molecules, 16*(8), 6816–6832. doi:10.3390/molecules16086816

Bidchol, A. M., Wilfred, A., Abhijna, P., & Harish, R. (2012). Free Scravenging activity of aqueous and ethanolic extract of *Brassicaoleracea* L. var. italica. *Food and Bioprocess Technology, 4*(7), 1137-1143. DOI 10.1007/s11947-009-0196-9

Daruwan, C. (2020). *มัลตี้ บิวตี้' เปิดตัว BYVIBES WONDERBATH SUPER VEGITOKS CLEANSER คลีนซิ่งผักฟองฟู่ 3 สูตรสุดฮิตจากเกาหลี*. Retrieved Mach 28, 2020, from https://www.hisopartyofficial.com/ content/มัลติ้-บิวติ้-เปิดตัว-byvibes-wonderbath-super-vegitoks-cleanser-คลีนซิ่งผักฟองฟู่-3-สูตรสุดฮิตจากเกาหลี

Guo, J.-T., Lee, H.-L., Chiang, S.-H., Lin, F.-I., & Chang, C.-Y. (2001). Antioxidant Properties of the Extracts from Different Parts of Broccoli in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis, 9*(2), Article 1.

Infante, V., & Campos, P. (2019). Physico-mechanical properties of topical formulations based on different polymers. *Journal Biomedical and Biopharmaceutical Research, 16*, 213-222.

Kosewski, G., Górna, I., Boleslawska, I., Kowalówka, M., . . . Przysławski, J. (2018). Comparison of antioxidative properties of raw vegetables and thermally processed ones using the conventional and sous-vide methods. *Food Chemistry, 240*, 1092-1096. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.08.048

Puechkaset. (2016). *บรอกโคลี ประโยชน์ สรรพคุณและการปลูกบรอกโคลี*. Retrieved Mach 28, 2020, from http://Puechkaset.com/บรอกโคลี