

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.)

Study on the Optimization of Extraction and Drying Methods on Physicochemical Properties of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Gum

สิริการ หนูสิงห์ และวารางคณา สมพงษ์*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Sirikan Noo-sing and Warangkana Sompongse*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มมูลค่าของเมล็ดมะขาม โดยการสกัดกัมเมล็ดมะขามด้วยน้ำร้อน กรดเจือจาง (0.05 M HCl) และด่างเจือจาง (0.05 M NaOH) ที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 3 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ การใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C นาน 3 ชั่วโมง ได้กัมที่มีความสามารถในการละลาย (solubility) สูงที่สุด มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (water adsorption ratio) สูง ได้ปริมาณผลผลิตกัมร้อยละ 7.73 ± 1.01 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากการสกัดด้วยกรดเจือจางอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) มีค่าความหนืดค่อนข้างสูง จาก FTIR spectra พบว่ากัมที่สกัดทั้ง 3 วิธี มีโครงสร้างที่คล้ายกัน การศึกษาการทำแห้งกัม 4 วิธี ได้แก่ การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 4 ชั่วโมง และ 80 °C นาน 2 ชั่วโมง การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าการทำแห้งกัมเมล็ดมะขามที่เหมาะสมคือการใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 2 ชั่วโมง มีปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างจากการทำแห้งด้วยวิธีการอื่น ($p > 0.05$) มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) น้อย และมีค่าความสว่าง (L^*) สูงรองจากกัมที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ได้กัมที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง และมีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) จากการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

คำสำคัญ : เมล็ดมะขาม; โพลีโอส; ทามารินด์กัม; การสกัด; การทำแห้ง

Abstract

The objective of this research was to increase the value of Tamarind seeds. The extraction method for tamarind gum by 90 °C for 3 hours from either water, or diluted hydrochloric acid (0.05 M HCl), or diluted sodium hydroxide (0.05 M NaOH) solution was studied. It was found that the water method gave the most suitable result. The gum obtained had the yield of 7.73 ± 1.01 % with highest solubility, high water adsorption ratio, and high viscosity. However, the carbohydrate content was similar to that from the acid extraction ($p > 0.05$). From FTIR spectroscopy, the gum from those three methods possessed similar structures. Then, the gum was dried using 4 different methods, i.e., 4 hours in a 50 °C hot air oven, 2 hours in a 80 °C hot air oven, vacuum drying, and freeze drying. It was found that all drying methods gave similar yield of gum (%), ($p > 0.05$), though the gum from the 80 °C hot air oven possessed significantly lowest moisture content ($p \leq 0.05$), with low amount of water activity (a_w). As of the lightness value (CIE L*), the gum from the 80 °C hot air oven was second from that of the freeze dryer. Moreover, the gum from the 80 °C hot air oven was high in water adsorption ratio and the highest in solubility, which was not significantly different from that of the gum from the 50 °C hot air oven and the freeze drying ($p > 0.05$).

Keywords: Tamarind seed; polyose; Tamarind gum; extraction; drying

1. บทนำ

กัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทหนึ่ง พบได้จากธรรมชาติ เช่น ยางของต้นไม้หรือไม้พุ่ม สกัดได้จากพืชหรือสาหร่าย สารจำพวกแป้งที่อยู่ในเมล็ดพืชหรือธัญพืช หรือเป็นเมือกที่ได้จากกระบวนการหมักโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอื่น ๆ [1] กัมจากเมล็ดพืชเป็นกลุ่มของกัมที่สำคัญและได้รับความนิยมมากในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งอาหาร ยา และเครื่องสำอาง ซึ่งโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี รวมไปถึงสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของกัมจากเมล็ดพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของเมล็ดพืช สิ่งแวดล้อม รวมถึงกระบวนการต่าง ๆ ในการได้มาซึ่งกัมเหล่านั้น ตัวอย่างกัมจากเมล็ดพืชที่นิยมใช้กัน ได้แก่ โลคัสต์ บีนกัม กัวร์กัม และทามารินด์กัม เป็นต้น

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อยู่ในตระกูล Fabaceae (Leguminosae) เจริญเติบโตในประเทศต่าง ๆ มากกว่า 50 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะในเอเชีย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา ไทย และอินโดนีเซีย [2] ฝักมะขามมีลักษณะเป็นฝักสีน้ำตาล หนึ่งฝักประกอบด้วยเมล็ด 1-12 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแข็ง แบน มันวาว มีสีแดงหรือสีม่วงอมน้ำตาล แต่ละเมล็ดจะล้อมรอบด้วยเยื่อเหนียวคล้ายกับเยื่อหุ้ม ถือเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อมะขาม [3]

เมล็ดมะขามประกอบไปด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) (ร้อยละ 20-30) และเนื้อเมล็ด (ร้อยละ 70-80) เมล็ดมะขามเป็นแหล่งสำคัญของโปรตีน ไขมัน กรดอะมิโนที่จำเป็น และคาร์โบไฮเดรต [4] เมล็ดมะขามประกอบไปด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์มากกว่า

ร้อยละ 65 โปรตีนร้อยละ 15-21 โดยประมาณ และไขมันร้อยละ 3-8 โดยประมาณ รวมถึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ

กัมเมล็ดมะขามหรือทามารินกัม (Tamarind gum) สกัดได้จากเมล็ดมะขามในส่วนของเอนโดสเปิร์ม โครงสร้างเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทไซโลกลูแคน ประกอบไปด้วยโมเลกุลของน้ำตาล 3 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลกโทสต่อกันเป็นสายโซ่ยาว มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 720,000-880,000 ดาลตัน [5] โครงสร้างสายหลักของกัมเมล็ดมะขามนั้นประกอบไปด้วย (1→4)- β -D-glucan ต่อกันเป็นสายหลัก

ในอุตสาหกรรม ผงกัมที่สกัดจากเมล็ดมะขามเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า jellose หรือ polyose สามารถละลายน้ำได้ดี ทนทานต่อสภาวะที่เป็นกรดต่างได้ดี และเกิดเจลได้ โดยสามารถเกิดเจลได้ในระบบที่มีน้ำตาล ซึ่งเป็นสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกตินจากผลไม้ จึงนำมาใช้ในการสร้างเจลที่คล้ายกับเพกตินในผลิตภัณฑ์ได้ เช่น แยม เยลลี่ มามาเลด แต่สิ่งที่แตกต่างจากเพกตินที่ได้จากผลไม้ คือ เจลของกัมเมล็ดมะขามอยู่ในสภาวะที่เป็นกลาง จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น กัมเมล็ดมะขามได้รับอนุญาตให้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น ทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer) เป็นสารให้ความข้นหนืด และสารที่ทำให้เกิดเจลในอุตสาหกรรมอาหาร กัมเมล็ดมะขามจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับกัมชนิดอื่น ได้แก่ กัวร์กัม และแอลจินต เป็นต้น [6]

งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเมล็ดมะขาม ซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อมะขามที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์เท่าที่ควร และมีจำนวนมากภายในประเทศมาใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ในการ

นำมาสกัดกัม โดยศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดและกระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมต่อสมบัติของกัมเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อให้ได้กัมที่มีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ตามความต้องการในอุตสาหกรรมอาหารได้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมเมล็ดมะขาม

2.1.1 การเตรียมเมล็ดมะขาม

ล้างทำความสะอาดเมล็ดมะขาม ทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 9 ชั่วโมง เพื่อให้แห้งและเก็บรักษาได้นาน (a_w 0.6 $\pm$ 0.05) บรรจุลงในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ -18 °C จนกระทั่งนำไปใช้

กำจัดเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม โดยอบเมล็ดมะขามด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 200 °C นาน 20 นาที ทบให้แตก แล้วกำจัดเปลือกออกจากเนื้อเมล็ดมะขาม ทบเมล็ดมะขามให้พอแตก แล้วนำไปบดโดยใช้เครื่องบด ร่อนโดยใช้ตะแกรงขนาด 20 mesh ส่วนที่อยู่ด้านบนตะแกรงขนาด 20 mesh คือ ผงเนื้อเมล็ดมะขาม (Tamarind kernal powder, TKP) ที่นำไปใช้ในการสกัด จากนั้นจึงนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมจากเมล็ดมะขาม โดยใช้อัตราส่วนของ TKP ต่อตัวทำละลายที่ศึกษาเท่ากับ 1:2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

2.1.2 การสกัดกัมเมล็ดมะขาม

นำผงเนื้อเมล็ดมะขาม (TKP) มาสกัดในสภาวะที่ศึกษา 3 สภาวะ ได้แก่ การสกัดโดยใช้น้ำร้อน กรดเจือจาง (0.05 M HCl) และด่างเจือจาง (0.05 M NaOH) ที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 3 ชั่วโมง (ดัดแปลงจาก Somboonpanyakul และคณะ [7]) จากนั้นทิ้งให้สารผสมตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รินสารละลายส่วนใสด้านบนออก และปรับ pH ให้อยู่ในช่วงประมาณ 5.8-6.0 โดยใช้ 2 M NaOH และ 2 M HCl จากนั้นนำสารละลายไปตกตะกอนด้วย 95 % เอทานอล โดยใช้อัตราส่วน 1:2 (สารผสม : เอทานอล) และกรองแบบสุญญากาศโดยใช้ผ้ากรอง นำส่วนตะกอนมาทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบดให้เป็นผง และร่อนผ่านตะแกรง (35-50 mesh) (ดัดแปลงจาก Marathe และคณะ [6] และ Somboonpanyakul และคณะ [7]) ได้กัมเมล็ดมะขาม

2.1.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

2.1.3.1 ปริมาณผลผลิตกัมที่สกัดได้ (% yield)

ชั่งน้ำหนักกัมที่ถูกทำแห้ง และคำนวณปริมาณผลผลิตในการสกัดกัมเมล็ดมะขาม ดังสมการ [8]

$$Y = 100 \times (M_1/M_2)$$

โดย M_1 คือ น้ำหนักของกัมที่สกัดได้ (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักของผงเนื้อเมล็ดมะขาม (กรัม)

2.1.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของกัมเมล็ดมะขาม

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า ตามวิธีการของ AOAC [9] และปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ

2.1.3.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water adsorption ratio)

เตรียมสารละลายกัมเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก กวนอย่างสม่ำเสมอโดยใช้ magnetic stirrer เป็นเวลา 2 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยง (5,000 xg ที่อุณหภูมิ 25 °C) เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักสารละลายส่วนใส ความสามารถในการดูดซับน้ำของตัวอย่างแสดงเป็นสัดส่วนของน้ำที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนัก

ตัวอย่างกัมเมล็ดมะขาม (ดัดแปลงจาก Amid และ Mirhosseini [8])

2.1.3.4 ความสามารถในการละลาย (% solubility)

เตรียมสารละลายกัมเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิห้อง กวนอย่างสม่ำเสมอโดยใช้ magnetic stirrer เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยง (8,000xg ที่อุณหภูมิ 25 °C) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ละลายออก เก็บสารละลายส่วนใสมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 ชั่วโมง และคำนวณความเข้มข้นสุดท้ายในรูปปริมาณของแข็งทั้งหมด คำนวณความสามารถในการละลาย (ดัดแปลงจาก Amid และ Mirhosseini [8])

$$\text{Solubility (\%)} = (C_1/C_2) \times 100$$

โดย C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายส่วนใส

C_2 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น

2.1.3.5 ความหนืดของสารละลายกัม (viscosity)

เตรียมสารละลายกัมเมล็ดมะขามเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กวนอย่างสม่ำเสมอโดยใช้ magnetic stirrer เป็นเวลา 30 นาที วัดความหนืดของสารละลายกัมเมล็ดมะขาม โดยใช้ rotational rheometer ใช้หัววัดแบบ aluminum parallel plate geometry (เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm) ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้ shear rate เท่ากับ 100 s⁻¹ บันทึกค่าความหนืดของสารละลายกัม และรายงานค่าในหน่วย Pa·s (ดัดแปลงจาก Amin และคณะ [10])

2.1.3.6 โครงสร้างโมเลกุลกัมเมล็ดมะขามโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

นำผงกัมเมล็ดมะขามที่ผ่านการสกัดในสภาวะต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา 0.2 มิลลิกรัม

ผสมกับ potassium bromide (KBr) 10 mg บรรจุลงในจานกลมสำหรับวิเคราะห์ภายใต้สภาวะแห้ง วิเคราะห์แถบความถี่ของ FT-IR โดยใช้เครื่อง infrared spectrophotometer จาก wave number 4000 ถึง 400 cm^{-1} ใช้อัตราการบินที่ข้อมูล 2 cm^{-1} ต่อจุด (ดัดแปลงจาก Zhang และ คณะ [11])

2.2 การศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติของกัมเมล็ดมะขาม

นำกัมที่สกัดเมล็ดมะขามโดยวิธีการที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดลองที่ 2.1 มาทำแห้ง ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบต่าง ๆ ได้แก่ (1) การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ควบคุม a_w ของกัมแห้งประมาณ 0.3) (2) การทำแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความดัน 0.02 bar และ (3) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นำกัมไปวัดค่าต่อไปนี้

2.2.1 ปริมาณผลผลิตของกัมที่ทำแห้ง (% yield) [8]

2.2.2 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

2.2.3 ปริมาณความชื้น (%) [9]

2.2.4 ค่าสี (L^* a^* b^*) อ่านค่าสีของผงกัมแห้ง เป็นค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*)

2.2.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water adsorption ratio) (ดัดแปลงจาก Amid และ Mirhosseini [8])

2.2.6 ความสามารถในการละลาย (% solubility) (ดัดแปลงจาก Amid และ Mirhosseini [8])

2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (analysis of variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่าง

ทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมเมล็ดมะขาม

3.1.1 ปริมาณผลผลิตกัมที่สกัดได้

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการการสกัดกัมเมล็ดมะขาม พบว่าการสกัดกัมเมล็ดมะขามโดยใช้กรดเจือจางที่อุณหภูมิ $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 3 ชั่วโมง ได้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ ร้อยละ 17.74 ± 1.62 รองลงมาคือการสกัดโดยใช้น้ำ (ร้อยละ 7.73 ± 1.01) และการสกัดโดยใช้ต่างเจือจาง (ร้อยละ 6.73 ± 0.29) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตของกัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ

การสกัด	ปริมาณผลผลิตกัม (%)
น้ำร้อน	7.73 ± 1.01^b
HCl 0.05 M	17.74 ± 1.62^a
NaOH 0.05 M	6.73 ± 0.29^b

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$)

^{a,b} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ในการสกัดกัมเมล็ดมะขามโดยใช้น้ำ ร่วมกับการใช้อุณหภูมิสูง เมื่อน้ำแพร่เข้าไปในเอนโดสเปิร์ม น้ำจะสามารถไปละลายองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีความสามารถในการจับกับน้ำได้ และเนื่องจากกัมเป็นสารประกอบโพลีกลูแคนที่มีขนาดใหญ่ ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิดเชื่อมต่อกัน ได้แก่

น้ำตาลกลูโคส โซลอส และกาแลกโทส [2,6,12] ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำเป็นจำนวนมาก จึงมีความสามารถในการเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ ดังนั้นน้ำจึงละลายกัมออกมาจากเอนโดสเปิร์มได้ ประกอบกับการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด ซึ่งช่วยทำลายโครงสร้างของเซลล์เมลิตมะขามที่หุ้มกัมไว้ทำให้กัมละลายออกมาอยู่ในน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลายได้ง่ายขึ้น มากขึ้น และเร็วขึ้นด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม จากรายงานวิจัยของ Amid และ Mirhossein [8] ซึ่งศึกษาการสกัดกัมจากเมล็ดทุเรียนในสภาวะต่าง ๆ และ Somboonpanyakul และคณะ [7] ซึ่งศึกษาการสกัดกัมจากลูกสำรองพบว่าการใช้กรดและด่างในการสกัดนั้น มีประสิทธิภาพมากกว่าการสกัดโดยใช้น้ำ โดยกรดและด่างมีความรุนแรงในการทำลายโครงสร้างของเซลล์ได้มากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงสามารถทำลายโครงสร้างของเซลล์หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ที่จับยึดกัมเอาไว้ได้ ส่วนการสกัดโดยใช้ด่างนั้น ต่างมีความสามารถในการทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ที่ประกอบไปด้วยเพกทินเป็นส่วนใหญ่ได้ดี [7,13] โดยไม่สามารถทำลายพันธะไกลโคซิดิกที่เชื่อมระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวของกัมได้ พันธะนี้จะถูกย่อยได้ในสภาวะที่เป็นกรด [14] ดังนั้นแม้ว่าด่างจะสามารถสกัดไซโลแลนแคนที่ยึดติดกับผนังเซลล์ออกมาได้มาก ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตในการสกัดสูง แต่ในการทดลองนี้ การใช้ด่างในการ

สกัดจะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นมาก ทำให้แยกสารละลายกัมออกมาจากส่วนของตะกอนของเมลิตมะขามได้น้อยกว่าการสกัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ทำให้ปริมาณผลผลิตของกัมที่สกัดโดยใช้ด่างในงานวิจัยนี้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับการสกัดโดยใช้น้ำ ในขณะที่การสกัดโดยใช้กรดนั้น ให้ปริมาณผลผลิตในการสกัดที่สูงที่สุด เนื่องจากกรดเป็นสารที่มีความรุนแรงในการทำลายโครงสร้างเซลล์มาก และกลไกการทำงานของกรดนั้นเป็นการทำงานแบบสุมและสามารถไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดิกได้ด้วย ดังนั้นจึงทำลายโครงสร้างทุกอย่างที่สามารถทำลายได้ รวมถึงสายพอลิเมอร์ของไซโลแลนแคนด้วย จึงทำให้การสกัดโดยใช้กรดได้ปริมาณผลผลิตในการสกัดสูงนั่นเอง และมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูง เช่นเดียวกับการสกัดโดยใช้น้ำและด่างเจือจาง

นอกจากนี้ เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ดังนั้นสารอื่น ๆ ที่มีความสามารถในการละลายน้ำ นอกเหนือไปจากกัมที่เราต้องการ จึงสามารถละลายออกมาปนอยู่กับกัมได้ ทำให้กัมจากเมลิตมะขามที่สกัดในสภาวะที่ทำการศึกษากัมที่ไม่บริสุทธิ์ (crude gum) ที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมันโมเลกุลเล็ก ๆ รวมไปถึงเม็ดสีธรรมชาติภายในเมลิตมะขาม และสีของเอนโดสเปิร์มของเมลิตมะขามที่มีสีน้ำตาลจากการอบ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ได้กัมจากเมลิตมะขามที่มีสีน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กัมจากเมลิตมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ (ก) น้ำร้อน (ข) กรดเจือจาง (0.05 M HCl) และ (ค) ด่างเจือจาง (0.05 M NaOH)

3.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของกัมมะเล็ด
องค์ประกอบทางเคมีของกัมมะเล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ เปรียบเทียบกับผงเนื้อเมล็ดมะขาม (TKP) แสดงในตารางที่ 2 พบว่าผงเนื้อเมล็ดมะขาม (TKP) ประกอบไปด้วยปริมาณโปรตีนและไขมันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกัมมะเล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ คือ ร้อยละ 14.61 $\pm$ 0.53 และ 5.51 $\pm$ 1.09 ตามลำดับ มีปริมาณเถ้าร้อยละ

ละ 2.46 $\pm$ 0.05 และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 71.62 $\pm$ 0.90 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marathe และคณะ [6] ที่รายงานว่าผงเนื้อเมล็ดมะขามมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.67 $\pm$ 0.05 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 14.38 $\pm$ 0.21 ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.28 $\pm$ 0.26 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 73.68

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของ TKP และกัมมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมี	TKP	สภาวะในการสกัด		
		Hot water	0.05M HCl	0.05M NaOH
ความชื้น	5.63 $\pm$ 0.36 ^d	8.74 $\pm$ 0.38 ^b	8.20 $\pm$ 0.33 ^c	9.12 $\pm$ 0.10 ^a
โปรตีน	14.61 $\pm$ 0.53 ^a	5.32 $\pm$ 0.34 ^c	5.14 $\pm$ 0.21 ^c	9.20 $\pm$ 0.19 ^b
เถ้า	2.64 $\pm$ 0.05 ^b	2.17 $\pm$ 0.23 ^c	2.51 $\pm$ 0.24 ^b	3.06 $\pm$ 0.07 ^a
ไขมัน	5.51 $\pm$ 1.09 ^a	0.99 $\pm$ 0.10 ^b	0.76 $\pm$ 0.17 ^b	0.66 $\pm$ 0.20 ^b
คาร์โบไฮเดรต	71.62 $\pm$ 0.90 ^c	82.78 $\pm$ 0.48 ^a	83.40 $\pm$ 0.59 ^a	77.96 $\pm$ 0.31 ^b

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

^{a,b,c,d} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวบนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาเฉพาะกัมมะเล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ พบว่าการสกัดโดยใช้ด่างเจือจางทำให้ได้กัมที่มีปริมาณโปรตีนและเถ้าสูงที่สุดคือร้อยละ 9.20 $\pm$ 0.19 และ 3.06 $\pm$ 0.07 ตามลำดับ มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกัมที่สกัดด้วยน้ำและกรดเจือจาง เนื่องจากต่างสามารถทำลายโครงสร้างของเซลล์ได้มาก จึงทำให้สารต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ รวมทั้งโปรตีนและสารอื่น ๆ ที่สามารถละลายน้ำได้ถูกดึงออกมาได้มาก ทำให้มีปริมาณโปรตีนและเถ้าค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากไขมันเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว จึงละลายออกมาในน้ำได้ยากกว่า ทำให้กัมที่สกัดได้ทั้งหมดมี

ปริมาณไขมันไม่แตกต่างกัน และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าการสกัดในสภาวะอื่น ๆ (ร้อยละ 77.96 $\pm$ 0.31) กัมที่สกัดโดยใช้น้ำร้อนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (ร้อยละ 82.78 $\pm$ 0.48) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับกัมที่สกัดด้วยกรด (ร้อยละ 83.40 $\pm$ 0.59) นอกจากนี้กัมที่สกัดโดยใช้น้ำร้อนมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับกัมที่สกัดด้วยกรดเจือจาง (ร้อยละ 5.32 $\pm$ 0.34 และ 5.14 $\pm$ 0.21 ตามลำดับ) และมีปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกัมที่สกัดในสภาวะอื่น

3.1.3 ความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำ

ความสามารถในการดูดซับน้ำของกัมเมล็ดมะขาม แสดงในตารางที่ 3 พบว่ากัมที่สกัดโดยใช้ต่างเจือจาง มีความสามารถในการดูดซับน้ำมากที่สุด รองลงมาคือกัมที่สกัดด้วยน้ำและกรดตามลำดับ เนื่องจากสายพอลิเมอร์ของไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่สกัดด้วยต่าง มีโครงสร้างขนาดใหญ่และเป็นสายยาว เมื่อเปรียบเทียบกับกรดสกัดใช้น้ำและกรด

ดังนั้นเมื่ออยู่ในระบบสายพอลิเมอร์จะเกิดการพันกันไปมาอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้สามารถกักเก็บน้ำเอาไว้ในโครงสร้างได้มาก ในขณะที่ไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่สกัดโดยใช้กรด จะมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์สายสั้น ๆ ที่ได้จากการย่อยด้วยกรด ดังนั้นเมื่ออยู่ในระบบจึงมีความสามารถในการจับน้ำเอาไว้ในโครงสร้างได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดโดยใช้ต่างและน้ำนั่นเอง

ตารางที่ 3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการละลาย และค่าความหนืด (Pa·s) ของกัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ

สมบัติทางเคมี-กายภาพ	สภาวะในการสกัด		
	H ₂ O	0.05 M HCl	0.05 M NaOH
ความสามารถในการดูดซับน้ำ	8.75 ± 5.23 ^b	3.86 ± 2.40 ^c	9.41 ± 3.89 ^a
ความสามารถในการละลาย (%)	86.63 ± 3.22 ^a	86.06 ± 0.82 ^a	82.66 ± 2.03 ^b
ความหนืด (Pa·s)	2.90 ± 0.12 ^a	0.36 ± 0.08 ^b	2.96 ± 0.16 ^a

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

^{a,b,c} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวบนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับความสามารถในการละลายของกัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่ากัมเมล็ดมะขามที่สกัดใช้น้ำและกรดเจือจาง มีความสามารถในการละลายสูงที่สุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) คือร้อยละ 86.63 ± 3.22 และ 86.06 ± 0.82 ตามลำดับ กัมที่สกัดโดยใช้ต่างเจือจาง มีความสามารถในการละลายน้อยที่สุดคือร้อยละ 82.66 ± 2.03 เนื่องจาก ต่างที่ใช้ในการสกัดมีความสามารถในการทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ที่กักเก็บไซโลกลูแคนเอาไว้ภายในถูกทำลายได้โดยไม่มีผลต่อโครงสร้างของสายพอลิเมอร์ของไซโลกลูแคน ดังนั้นสายพอลิเมอร์ของไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่สกัดโดยใช้ต่างจึงมีลักษณะเป็นสายยาว

ที่มีขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่สกัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ดังนั้น จึงพันกันไปมาอย่างไม่เป็นระเบียบในระบบ ทำให้ละลายน้ำได้น้อยลง

ส่วนการใช้กรดในการสกัดนั้น แม้ว่ากรดมีความสามารถในการทำลายโครงสร้างต่าง ๆ ได้ดี เช่นเดียวกับต่าง แต่กรดสามารถทำลายพันธะไกลโคซิดิกซึ่งเป็นพันธะที่เชื่อมระหว่างมอนอเมอร์ของไซโลกลูแคนได้ ดังนั้นไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่สกัดได้โดยใช้กรดจึงมีโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดสกัดใช้น้ำและต่างตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้มาก อันเนื่องมาจากการที่โครงสร้างโมเลกุลมีขนาด

เล็ก และแสดงส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) ออกมามากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำที่สูงขึ้นเดียวโซโลกูลแคนจากเมล็ดมะขามที่สกัดโดยใช้น้ำ

จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยนี้ กัมเมล็ดมะขามที่สกัดได้ในสภาวะต่าง ๆ ที่ศึกษามีความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิห้องสูงกว่าร้อยละ 80 ซึ่งมีค่าสูงกว่ากัมจากเมล็ดทุเรียน ที่มีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 7.00-19.21 [4] และกัมที่สกัดจาก *Lepidium perfoliatum* seed ซึ่งมีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 18-25 [15] รวมถึง locust bean gum ที่มีความสามารถในการละลายเท่ากับร้อยละ 30 [15]

3.1.4 ความหนืดของสารละลายกัม

ความหนืดของสารละลายกัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3 พบว่ากัมเมล็ดมะขามที่สกัดโดยใช้ต่างเจือจาง มีความหนืดค่อนข้างสูง โดยมีค่าความหนืด 2.96 ± 0.16 Pa·s รองลงมาคือกัมที่สกัดด้วยน้ำ และกัมที่สกัดโดยใช้กรดเจือจางมีความหนืดต่ำที่สุด (2.90 ± 0.12 และ 0.36 ± 0.08 Pa·s ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องจากกัมที่สกัดโดยใช้ต่างมีโครงสร้างขนาดใหญ่ เป็นพอลิเมอร์สายยาว ทำให้ต้านทานการไหลในระบบได้มาก จึงมีความหนืดสูง ในขณะที่กัมที่สกัดโดยใช้กรดซึ่งมีโครงสร้างเป็นสายพอลิเมอร์สั้น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับกัมที่สกัดโดยใช้น้ำและต่าง ตามลำดับ ต้านทานการไหลในระบบได้น้อยที่สุด จึงมีความหนืดต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่อธิบายในเรื่องความสามารถในการละลายน้ำและความสามารถในการดูดซับน้ำใน 3.1.3

3.1.5 โครงสร้างโมเลกุลกัมเมล็ดมะขาม

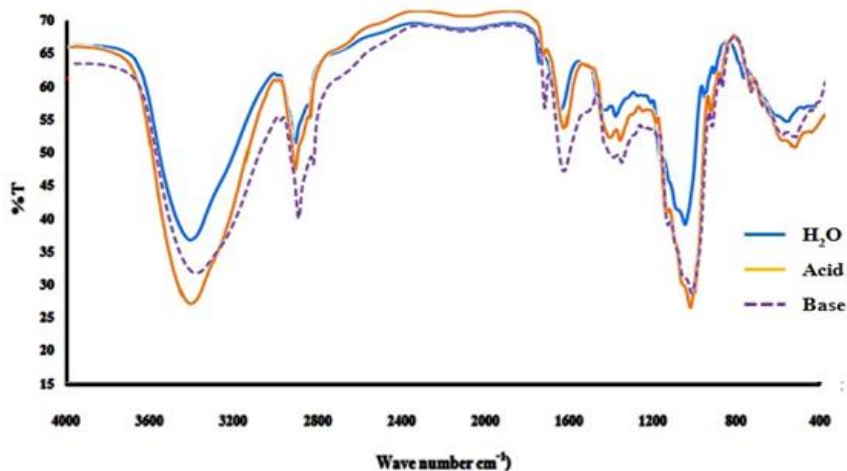
FTIR spectra ของกัมเมล็ดมะขามที่สกัดโดยใช้น้ำร้อน กรดเจือจาง และต่างเจือจาง แสดงในรูปที่ 2 พบว่ากัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ

มีโครงสร้างเหมือนกัน เนื่องจากมี FTIR spectra ปรากฏอยู่ในช่วงของ wave number เดียวกัน และมีโครงสร้างเป็นโซโลกูลแคน เนื่องจากปรากฏ spectra ในช่วงของ wave number ของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของโซโลกูลแคน ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) [11] ซึ่งปรากฏพีคที่ wave number 3433.96, 3427.85 และ 3412.77 cm^{-1} สำหรับกัมเมล็ดมะขามที่สกัดด้วยน้ำ กรด และต่าง ตามลำดับ หมู่เมทิล (-CH₃) [11] ซึ่งปรากฏพีคที่ wave number 2924.87, 2924.58 และ 2925.36 cm^{-1} สำหรับกัมเมล็ดมะขามที่สกัดด้วยน้ำ กรด และต่าง ตามลำดับ และพีคในช่วง wave number ประมาณ 1040 และ 1640 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการสั่นสะเทือนแบบยืดหดของหมู่ CH-OH (stretching vibration of CH-OH) [11] (1040.31 และ 1640.46 cm^{-1} สำหรับกัมที่สกัดด้วยน้ำ 1040.34 และ 1643.66 cm^{-1} สำหรับกัมที่สกัดด้วยกรด และ 1041.0 และ 1657.40 cm^{-1} สำหรับกัมที่สกัดด้วยต่าง) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang และคณะ [11] ซึ่งรายงานค่า FTIR spectra ของกัมเมล็ดมะขามทางการค้า (Tamarind gum) ว่ามีพีคของ FTIR ปรากฏที่ wave number 3400 cm^{-1} สำหรับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 2926 cm^{-1} สำหรับหมู่เมทิล (-CH₃) และ 1041 และ 1648 cm^{-1} สำหรับการสั่นสะเทือนแบบยืดหดของหมู่ CH-OH ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่ากัมเมล็ดมะขามที่สกัดโดยใช้น้ำร้อน กรดเจือจาง และต่างเจือจาง ไม่มีผลต่อโครงสร้างของโซโลกูลแคน และการสกัดทั้ง 3 สภาวะ นั้นได้กัมที่มีโครงสร้างที่คล้ายกัน

จากการพิจารณาสมบัติทั้งหมดของกัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ แล้ว พบว่าการสกัดโดยใช้น้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 3 ชั่วโมง ได้กัมเมล็ดมะขามที่มีความสามารถในการละลาย (solubility) สูงที่สุด ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากการสกัด

โดยใช้กรดอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (water adsorption) ที่สูงกว่ากัมที่สกัดโดยใช้กรดมาก แม้ว่าการสกัดโดยใช้กรดจะได้ปริมาณผลผลิตที่สูงที่สุดก็ตาม เนื่องจากผู้วิจัยเห็นว่าทั้งความสามารถในการละลายน้ำและความสามารถในการดูดซับน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญมากที่ใช้พิจารณาการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมเมล็ดมะขามคือการสกัดโดยใช้

น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 3 ชั่วโมง นอกจากนี้กัมเมล็ดมะขามที่ใช้ใช้น้ำร้อน ยังมีค่าความหนืดสูง ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกัมที่สกัดด้วยด่างเจือจาง แม้ว่าการสกัดโดยใช้ด่างทำให้ได้กัมที่มีความหนืดสูงและมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูงมากที่สุด แต่เนื่องจากมีปริมาณผลผลิตในการสกัดที่ต่ำเกินไป จึงทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2 FTIR spectra กัมเมล็ดมะขามที่สกัดในสภาวะต่าง ๆ

3.2 ผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติของกัมเมล็ดมะขาม

3.2.1 ปริมาณผลผลิตของกัมที่ทำแห้ง

จากการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งกัมเมล็ดมะขาม พบว่าปริมาณผลผลิตของกัมแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยกระบวนการต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยกัมเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 80 °C มีปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 8.09 ± 1.98 และ 7.22 ± 1.20 ตามลำดับ กัมแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณผลผลิตร้อยละ $9.52 \pm$

1.59 และ 7.92 ± 1.20 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องจากกัมเมล็ดมะขามที่นำมาทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ นั้น มาจากสภาวะในการสกัดเดียวกัน คือ การสกัดโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C จึงทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการสกัดไม่แตกต่างกัน

3.2.2 ปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้น

ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้นของกัมเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4 พบว่าปริมาณน้ำอิสระ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ บ่งบอกถึง

ความสามารถในการเสื่อมเสียของอาหาร [16] ปริมาณน้ำอิสระของกัมที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่ากัมที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นมีค่า a_w ต่ำที่สุด คือ 0.117 ± 0.01 และมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 6.14 ± 0.10 เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นเป็นการทำให้น้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารกลายเป็นน้ำแข็ง และระเหิดออกไปจากอาหาร [17] ดังนั้นจึงทำให้น้ำที่อยู่ในอาหารถูกกำจัดออกไปได้มาก เป็นผลให้ปริมาณน้ำอิสระที่เหลืออยู่ในอาหารที่จุลินทรีย์จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นมีปริมาณน้อยมาก จึงมีค่า a_w ต่ำนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นจะสามารถกำจัดน้ำออกไปจากอาหารได้มากโดยไม่ทำลายโครงสร้างและเนื้อเยื่อของอาหาร สามารถรักษาคคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ เอาไว้ได้ ทำให้ได้อาหารที่มีความชื้นต่ำ แต่เนื่องจากอาหารที่ผ่านการทำแห้งลักษณะนี้ ดูดความชื้นได้เร็วมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเห็นว่ากัมเมล็ดมะขามที่ทำแห้งแบบแช่

เยือกแข็ง แม้ว่าจะมีค่า a_w ต่ำ แต่ก็มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ส่วนการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C และ 80°C นั้น ได้กัมที่มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.292 ± 0.05 และ 0.276 ± 0.01 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิสูงคือ 80°C ได้กัมที่มีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าที่ 50°C เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงสามารถกำจัดน้ำออกไปได้มากกว่า [17] และมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.31 ± 0.82 และ 5.40 ± 0.42 สำหรับการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C และ 80°C ตามลำดับ ส่วนการทำแห้งกัมเมล็ดมะขามโดยใช้การทำแห้งแบบสุญญากาศนั้น พบว่ากัมที่ได้มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.353 ± 0.18 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยวิธีการอื่น และมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.98 ± 2.76

ตารางที่ 4 ปริมาณผลผลิต ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้นของกัมเมล็ดมะขามที่ทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ

วิธีการทำแห้ง	ปริมาณผลผลิต (%) ^{ns}	ปริมาณน้ำอิสระ ^{ns}	ปริมาณความชื้น (%)
Hot air oven			
50 °C 4 hrs.	8.09 ± 1.98	0.292 ± 0.05	$7.31 \pm 0.82^{\text{ab}}$
80 °C 2 hrs.	7.22 ± 1.20	0.276 ± 0.01	$5.40 \pm 0.42^{\text{c}}$
Vacuum drying	9.52 ± 1.59	0.353 ± 0.18	$7.98 \pm 2.76^{\text{a}}$
Freeze drying	7.92 ± 1.20	0.117 ± 0.01	$6.14 \pm 0.10^{\text{bc}}$

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$)

^{a,b,c} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.2.3 ค่าสี ($L^* a^* b^*$)

ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง

(a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของกัมเมล็ดมะขามที่ทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของกัมเมล็ดมะขามที่ทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ

วิธีการทำแห้ง	ค่าสี		
	L^*	a^*	b^*
Hot air oven			
50 °C 4 hrs.	51.34 ± 0.27^c	6.16 ± 0.16^b	14.38 ± 0.15^b
80 °C 2 hrs.	52.71 ± 0.58^b	6.19 ± 0.28^b	14.02 ± 0.64^b
Vacuum drying	47.12 ± 1.35^d	7.06 ± 0.40^a	15.60 ± 1.21^a
Freeze drying	74.50 ± 0.71^a	3.72 ± 0.16^c	9.91 ± 0.45^c

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

a,b,c,d ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 5 พบว่ากัมเมล็ดมะขามที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 74.50 ± 0.71 และมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 3.72 ± 0.16 และ 9.91 ± 0.45 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นกระบวนการทำแห้งที่มีการใช้อุณหภูมิและความดันต่ำในการกำจัดน้ำออกจากอาหาร ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสีของอาหาร เช่น ปฏิกริยาเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก [16] จึงทำให้ได้กัมที่มีความสว่างมาก และมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองต่ำนั่นเอง ในขณะที่การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 80 °C นั้น ได้กัมที่มีค่า L^* เท่ากับ 51.34 ± 0.27 และ 52.71 ± 0.58 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างกัน (6.16 ± 0.16 และ 6.19 ± 0.28 ตามลำดับสำหรับค่า a^* และ 14.38 ± 0.15 และ 14.02 ± 0.64 ตามลำดับสำหรับค่า b^*) จะเห็นว่ากัมที่ได้มีค่า L^* ลดลง และค่า a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เนื่องจากการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนใช้อุณหภูมิสูงกว่าในการกำจัดน้ำออกจากอาหาร ดังนั้นปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงเกิดได้มากขึ้น ทำให้ได้กัมที่มีความสว่างลดลงและมีสีแดงหรือสีน้ำตาลมากขึ้นนั่นเอง ส่วนการทำแห้งแบบสุญญากาศนั้น ในงานวิจัยนี้พบว่าทำให้ได้กัมที่มีค่า L^* ต่ำที่สุด คือ 47.12 ± 1.35 และมีค่า a^* และ b^* สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 7.06 ± 0.40 และ 15.60 ± 1.21 ตามลำดับ โดยหลักการแล้ว การทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นการทำแห้งภายใต้สภาวะที่มีความดันอากาศต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้น้ำสามารถระเหยออกไปจากอาหารได้ที่อุณหภูมิต่ำลง แต่ในงานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งคือ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แม้ว่าจะใช้อุณหภูมิต่ำแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากใช้ระยะเวลาค่อนข้างเวลานานมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ดังนั้นกัมจึงสัมผัสกับความร้อนเป็นระยะเวลานาน มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีมาก เป็นผลให้ได้กัมเมล็ดมะขามที่มีสีเข้มมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กัมเมลิ็ดมะขามที่ทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ (ก) ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 4 ชั่วโมง (ข) ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 2 ชั่วโมง (ค) การทำแห้งแบบสุญญากาศ และ (ง) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

3.2.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลาย

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายของกัมเมลิ็ดมะขามที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่ากัมเมลิ็ดมะขามที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงที่สุด 9.65 ± 0.44 ดังแสดงในตารางที่ 6 เนื่องจากกัมเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบไปด้วยหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดอันตรกิริยากับน้ำ เก็บน้ำเอาไว้ในโครงสร้างได้ดี ประกอบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ได้กัมที่มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เพราะเป็นการทำให้น้ำที่แทรกอยู่ภายในกัมตำแหน่งต่าง ๆ เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งและระเหิดออกไปเมื่อมีการลดความดันให้ต่ำลง [17] ดังนั้นจึงไม่เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากด้านในออกมาที่ผิวของกัม เหมือนกับกระบวนการทำแห้งแบบอื่น ๆ ทำให้โครงสร้างของกัมในตำแหน่งที่มีน้ำแทรกอยู่เกิดเป็นรูพรุน จึงทำให้กัมสามารถที่จะดูดซับน้ำเอาไว้ในโครงสร้างได้ง่ายและมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบอื่น ๆ ซึ่งพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของกัมที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนี้ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกัมที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศ ($p > 0.05$) ซึ่งเท่ากับ 9.16 ± 0.47 ส่วนการทำแห้งโดย

ใช้ตู้อบลมร้อนนั้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C และ 80 °C ไม่ทำให้กัมมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (8.32 ± 0.58 และ 8.39 ± 0.68 ตามลำดับ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ตู้อบลมร้อนในการทำแห้งกัมเมลิ็ดมะขาม รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้นั้นไม่ทำให้กัมมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจากโครงสร้างเดิม ซึ่งเห็นได้จากความสามารถของกัมที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีนี้ทั้งสองอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซับน้ำของกัมที่สกัดด้วยน้ำในการทดลองตอนที่ 2.1.3 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 6 ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการละลายของกัมเมลิ็ดมะขามที่ทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการทำแห้ง	ความสามารถในการดูดซับน้ำ	ความสามารถในการละลาย (%)
Hot air oven		
50 °C 4 hrs.	8.32 ± 0.58^b	91.51 ± 0.72^a
80 °C 2 hrs.	8.39 ± 0.68^b	91.82 ± 0.73^a
Vacuum drying	9.16 ± 0.47^a	87.21 ± 0.68^b
Freeze drying	9.65 ± 0.44^a	91.02 ± 1.08^a

แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$)

^{a,b} ตัวเลขที่อักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายน้ำของกัมที่ทำแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่ากัมที่ผ่านการทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 80 °C และการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) คือร้อยละ 91.51 ± 0.72 , 91.82 ± 0.73 และ 91.02 ± 1.08 ตามลำดับ ส่วนกัมที่ผ่านการทำให้แห้งแบบสุญญากาศ มีความสามารถในการละลายน้ำน้อยที่สุด ร้อยละ 87.21 ± 0.68

จากการพิจารณาสมบัติของกัมเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ สังเกตเห็นได้ว่าการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้ได้กัมเมล็ดมะขามที่มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้นต่ำ มีค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุด และมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงที่สุด และมีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เนื่องจากการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการทำให้แห้งที่สิ้นเปลืองทั้งค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และพลังงานมาก จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับการทำให้แห้งแบบสุญญากาศ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำให้แห้งที่เหลือคือการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C และ 80 °C ผู้วิจัยจึงเห็นว่ากระบวนการทำให้แห้งกัมเมล็ดมะขามที่เหมาะสมคือการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 2 ชั่วโมง เนื่องจากการทำให้แห้งโดยวิธีนี้ได้กัมแห้งที่มีปริมาณผลผลิตในการทำแห้งไม่แตกต่างจากการทำให้แห้งด้วยวิธีการอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่อนข้างต่ำ และมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงสามารถเก็บไว้ได้นาน มีค่าความสว่างมาก (L^*)

รองลงมาจากการทำงานแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และเมื่อพิจารณาความสามารถในการละลายและความสามารถในการดูดซับน้ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมากในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ได้กัมที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีความสามารถดูดซับน้ำสูง ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับการใช้อุณหภูมิ 50 °C แต่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการทำแห้ง การทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 2 ชั่วโมง จึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการผลิตกัมในระดับอุตสาหกรรมมากกว่า

4. สรุป

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการทำให้แห้งกัมเมล็ดมะขามคือการสกัดโดยใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 3 ชั่วโมง และทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 2 ชั่วโมง เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวได้กัมเมล็ดมะขามที่มีสมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำที่สูง ซึ่งเป็นประโยชน์ที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่จัดสรรทุนสนับสนุนงานวิจัย ประเภททุนวิจัยทั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2555 เพื่อสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Milani, J. and Maleki, G., Hydrocolloids in Food Industry, แหล่งที่มา : <http://www.intechopen.com/books/food-industrial->

- processes-methods-and-equipment/hydro colloids-in-food-industry, 2 มีนาคม 2555.
- [2] Kumar, C.S. and Bhattacharya, S., 2008, Tamarind seed: Properties, processing and utilization, Food Sci. Nutr. 48: 1-20.
- [3] Kaur, P., Sandhu, K.S. and Kaur, J., 2011, Pasting properties of Tamarind (*Tamarindus indica*) kernel powder in the presence of Xanthan, Carboxymethyl cellulose and Locust bean gum in comparison to Rice and Potato flour, J. Food Sci. Tech. 69: 251-255.
- [4] Mirhosseini, H. and Amid, B.T., 2012, A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums, Food Res. Int. 46: 387-398.
- [5] วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน, 2553, ทามารินกัมจากเมล็ดมะขาม, ว. พระจอมเกล้าพระนครเหนือ 20: 173-180.
- [6] Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R., 2002, Gelling behavior of polyose from tamarind kernel polysaccharide, Food Hydrocolloids 16: 423-426.
- [7] Somboonpanyakul, P., Wang, Q., Cui, W., Barbut, S. and Jantawat, P., 2006, Malva nut gum (Part I): Extraction and physicochemical characterization, Carbohydr. Polym. 64: 247-253.
- [8] Amid, B.T. and Mirhosseini, H., 2012, Optimisation of aqueous extraction of gum from durian (*Durio zibethinus*) seed: A potential, low cost source of hydrocolloid, J. Food Chem. 132: 1258-1268.
- [9] AOAC, 2005, Official Method of Analysis, 16th Ed., Association of Official Chemists, Washington D.C.
- [10] Amin, A.M., Ahmad, A.S., Yin, Y.Y., Yahya, N. and Ibrahim, N., 2007, Extraction, purification and characterization of durian (*Durio zibethinus*) seed gum, Food Hydrocolloids 21: 273-279.
- [11] Zhang, J., Xu, S., Zhang, S. and Du, Z., 2008, Preparation and Characterization of Tamarind Gum/Sodium Alginate Composition Gel Beads, Iran Polym J. 17: 899-906.
- [12] Khounvilay, K. and Sittikijyothin, W., 2012, Rheological behaviour of tamarind seed gum in aqueous solutions, Food Hydrocolloids 26: 334-338.
- [13] ชนินันท์ ลิ้มปัสชาลย์, 2551, ผลของปริมาณโปรตีนในกัมสำรองต่อสมบัติอิมัลชัน ปริมาณกรดฟีนอลิก และความสามารถต้านออกซิเดชัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [14] Mitolo, J.J., 2006, Starch Selection and Interaction in Food, pp. 139-165, In Gaonkar, A.G. and McPherson, A. (Eds), Ingredient Interactions, Taylor & Francis, New York.
- [15] Koocheki, A., Taherian, A.R., Razavi, S.M.A. and Bostan, A., 2009, Response surface methodology for optimization of

- extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds, Food Hydrocolloids, 23: 2369–2379.
- [16] สุนทรชีน ศรีงาม, 2539, กระบวนการทำแห้งอาหาร, น. 164-172, ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บรรณาธิการ), วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, กรุงเทพฯ.
- [17] Fellows, P., 2000, Food Processing technology, 2nd Ed., Woodhead Publising, Ltd., England.