

อิทธิพลของการอบแห้งที่มีต่อสมบัติและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มขิงละลายในช่องปาก Influence of Drying on Properties and Bioactive Compounds of Ginger Orally Dissolving Film

ศิรดา สังสินชัย¹ ธีร์รัช เพชรพรประภาส¹ นนทร์ฤช ฮุนศรีนพรัตน์¹ กิตติธัช ศิริเวชพงค์กุล¹ และ ชลิตา เนียมนุ้ย¹
Sungsinchai, S.¹ Petchpornprapas, T.¹ Hunsrinopparat, N.¹ Sirivechphongkul, K.¹ and Niamnuy, C.¹

Abstract

The development of ginger orally dissolving film was conducted. The objective was to study the influence of drying techniques and temperatures on drying kinetic, color value, morphology, functional groups, crystallinity, *in vitro* dissolution time and bioactive compound contents of ginger film. Films were prepared by a solvent-casting method. Films contained ginger extract, tapioca starch, gelatin, carboxymethyl cellulose, sorbitol and sucralose of 9.87, 27.62, 18.83, 43.11, 0.19 and 0.38% (w/w), respectively. The drying conditions included hot air drying and infrared drying at the range of 40-60 °C, compared to shade drying. Infrared drying presented a higher drying rate than other drying methods. The drying rate of the film increased with an increase in drying temperature. Infrared drying of film at 50 °C exhibited the shortest *in vitro* dissolution time and the highest ginger bioactive compound contents, compared to other drying conditions.

Keywords: Ginger, Gingerol, Infrared drying, Shogaol

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแผ่นฟิล์มขิงสำหรับละลายในช่องปาก โดยวัตถุประสงค์ของงานนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของเทคนิคและอุณหภูมิการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ค่าสี สัณฐานวิทยา หมู่ฟังก์ชัน ความเป็นผลึก เวลาในการละลายในหลอดทดลอง และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มขิง แผ่นฟิล์มขิงถูกเตรียมด้วยวิธีการเทโดยอาศัยตัวทำละลาย แผ่นฟิล์มขิงประกอบด้วยสารสกัดขิง แป้งมันสำปะหลัง เจลาติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซอร์บิทอล และซูคราโลส เท่ากับ 9.87 27.62 18.83 43.11 0.19 และ 0.38% (w/w) ตามลำดับ สภาวะการอบแห้งที่ทำการศึกษาคือการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 40-60 °C เทียบกับการทำให้แห้งโดยการผึ่ง พบว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าวิธีการอบแห้งแบบอื่นๆ อัตราการอบแห้งของฟิล์มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการอบแห้ง โดยการอบแห้งฟิล์มด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 50 °C แสดงเวลาในการละลายในหลอดทดลองของฟิล์มสั้นที่สุด และมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขิงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ

คำสำคัญ: การอบแห้งด้วยอินฟราเรด ขิง จินเจอร์อล โชกาออล

คำนำ

ประเทศไทยมีจำนวนประชากรและสัดส่วนผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องทุกปี ซึ่งในบรรดาผู้สูงอายุเหล่านี้มักมีภาวะกลืนลำบากอันเนื่องมาจากโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทและสมอง เช่น โรคหลอดเลือดสมองและโรคสมองเสื่อม เป็นต้น ทำให้ผู้ป่วยรับประทานอาหารได้อย่างจำกัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อทางด้านสุขภาพและภาวะโภชนาการได้ (Sungsinchai และคณะ, 2019) ปัจจุบันพบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขิงในกลุ่มจินเจอร์อล (gingerol) และโชกาออล (gingerol) (Ghasemzadeh และคณะ, 2018) สามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการกลืนอาหารบริเวณลำคอ การเตรียมสารสกัดขิงในรูปแบบฟิล์มขิงจึงเป็นทางเลือกในการบำบัดอาการกลืนลำบากโดยใช้สารสกัดจากพืชสมุนไพร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาแผ่นฟิล์มขิงสำหรับละลายในช่องปากเพื่อกระตุ้นการกลืนสำหรับผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก อย่างไรก็ตามพบว่าการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพรวมถึงสมบัติต่างๆของแผ่นฟิล์มขิง Ghasemzadeh และคณะ (2018) พบว่าปริมาณ 6- 8- และ 10-gingerols ลดลงในขณะที่ปริมาณ 6-shogaol เพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งขิงด้วยอากาศร้อนเทียบกับการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ในระบบเปิดและในอุโมงค์ นอกจากนี้ Niamnuy และคณะ (2013) ยังพบว่าการอบแห้งใบบัวบกด้วยอินฟราเรดให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาอิทธิพลของเทคนิคและอุณหภูมิ

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ.งามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

การอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ค่าสี สัมฐานวิทยา หมู่ฟังก์ชัน ความเป็นผลึก เวลาในการละลายในหลอดทดลอง และ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มซึ่งจะใช้กระตุ้นการกลืนของผู้ป่วยที่มีภาวะกลืนลำบาก

อุปกรณ์และวิธีการ

เตรียมสารก่อฟิล์มเริ่มจากการเตรียมสารละลายน้ำแป้งมันสำปะหลังสุกความเข้มข้น 10% (w/v) สารละลายเจลาตินความเข้มข้น 25% (w/v) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 3% (w/v) ตามวิธีการของ Heinemann และคณะ (2016) เตรียมแผ่นฟิล์มซึ่งด้วยวิธีการเทโดยอาศัยตัวทำละลาย (solvent-casting) (Heinemann และคณะ, 2016) ซึ่งประกอบด้วยสารสกัดขิง แป้งมันสำปะหลัง เจลาติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซอร์บิทอล และซูคราโลส เท่ากับ 9.87 27.62 18.83 43.11 0.19 และ 0.38% (w/w) ตามลำดับ กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปใส่ฟองด้วยอากาศด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่ความถี่ 40 kHz เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาเทใส่แม่พิมพ์ (10 × 13 × 0.4 cm) นำไปอบแห้งด้วยอากาศร้อน (Redline by Binder, FD115, Tuttlingen, Germany) และอินฟราเรด (Niamnuy และคณะ, 2013) ที่อุณหภูมิ 40-60 °C โดยติดตามจลนพลศาสตร์การอบแห้งตั้งแต่เริ่มการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ค่าสีในหน่วยระบบสี CIELAB (L* a* และ b*) โดย L* คือค่าความสว่างและความมืด a* คือค่าสีแดงและสีเขียว และ b* คือค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) (Ultra scan, Hunter lab, Virginia, USA) ความหนาของแผ่นฟิล์มและความเป็นผลึก (X-ray diffraction, XRD) ตามวิธีการของ Hazirah และคณะ (2016) สัมฐานวิทยา หมู่ฟังก์ชัน (Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy) และเวลาในการละลายในหลอดทดลองตามวิธีการของ Heinemann และคณะ (2016) และวิธีวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพตัดแปลงจากวิธีของ Ghasemzadeh และคณะ (2018) โดยนำตัวอย่างฟิล์มซึ่งมาละลายในน้ำลายเทียม (Sungsinchai และคณะ, 2017) อบให้แห้งและละลายใหม่อีกครั้งด้วยเมทานอล นำไปวิเคราะห์ปริมาณ 6- 8- 10-gingerol และ 6-shogaol ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (SPD-M20A; Shimadzu, Kyoto, Japan) ที่มี UV detector ที่ความยาวคลื่น 282 nm ใช้คอลัมน์ Gemini C₁₈ (5 µm) ขนาด 250 × 4.6 mm อุณหภูมิคอลัมน์ 48 °C เฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำและอะซิโตนไตรคลอไรด์อัตราไหลของเฟสเคลื่อนที่เป็น 0.8 mL/min ปริมาตรในการฉีดคือ 50 µL เทียบกับสารมาตรฐาน 6- 8- 10-gingerol และ 6-shogaol (Chengdu Biopurify Phytochemicals Ltd., Chengdu, China) ที่ละลายในเมทานอลที่ความเข้มข้น 0-200 µg/mL โดยเปรียบเทียบค่าต่างๆกับฟิล์มซึ่งที่แห้งด้วยการผึ่งในที่ร่ม

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยอินฟราเรดให้อัตราการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน (Figure 1) เนื่องจากการอบแห้งด้วยอินฟราเรดใช้การถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี (Radiation) จากแหล่งกำเนิดโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ทำให้โมเลกุลของน้ำได้พื้นผิววัสดุดูดซับพลังงาน เกิดการสั่นและเกิดความร้อนขึ้นได้ ทำให้อุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ดังนั้นน้ำภายในวัสดุจึงระเหยได้รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ใช้การถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (convection) ดังจะเห็นได้จากปริมาณความชื้น ณ สภาวะสมดุลของการอบแห้งด้วยอินฟราเรดมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน (Table 2) และพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นลงเนื่องจากมีอัตราการอบแห้งที่สูงขึ้นนั่นเอง (Niamnuy และคณะ, 2013) โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแผ่นฟิล์มจนกระทั่งความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C ของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนคือ 2,280 1,980 และ 1,680 นาที ตามลำดับ และด้วยอินฟราเรดคือ 1,620 1,440 และ 1,260 นาที ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าการผึ่งในที่ร่มให้เวลาในการอบแห้งแผ่นฟิล์มซึ่งนานที่สุดคือ 72 ชั่วโมง

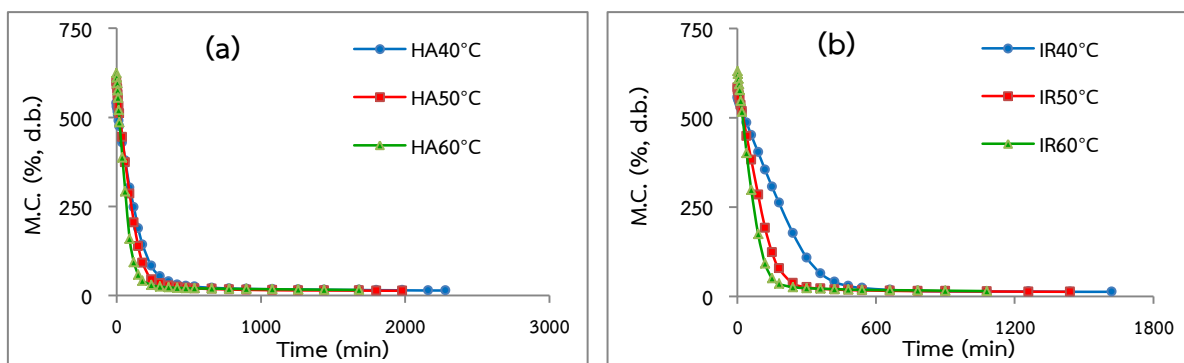


Figure 1 Drying kinetics of ginger orally dissolving film during (a) hot air drying and (b) infrared drying at 40, 50 and 60 °C

เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากโครงสร้างทางจุลภาค (Table 1) พบว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่ 40 °C ให้ลักษณะผิวหน้าที่เรียบเนียนกว่าสภาวะการอบแห้งอื่นๆ อาจเนื่องจากการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิต่ำทำให้มีการกระจายความร้อนและการระเหยของน้ำที่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ฟิล์มมีเกรเดียนต์ความชื้นบนผิวหน้าและภายในแผ่นฟิล์มน้อยกว่าในกรณีการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ

Table 1 Appearance of ginger orally dissolving film after drying.

Sample	Appearance**
HA40°C	ผิวขรุขระมาก มีฟองอากาศมาก
HA50°C	ผิวขรุขระเล็กน้อย มีฟองอากาศมาก
HA60°C	ผิวขรุขระมาก มีฟองอากาศปานกลาง
IR40°C	ผิวเรียบ มีฟองอากาศเล็กน้อย
IR50°C	ผิวขรุขระเล็กน้อย มีฟองอากาศเล็กน้อย
IR60°C	ผิวขรุขระมาก มีฟองอากาศเล็กน้อย
Shade drying	ผิวขรุขระมาก มีฟองอากาศปานกลาง

จาก Figure 2a พบว่าฟิล์มซึ่งมีความเป็นผลึกน้อยลงเมื่อเทียบกับสารก่อฟิล์มบริสุทธิ์ และพบว่าพิก (peak) ของแผ่นฟิล์มซึ่งผ่านการอบแห้งฟิล์มด้วยอินฟราเรดที่ 50 °C มีความเข้ม (Intensity) ของพิกต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มซึ่งที่สภาวะการอบแห้งอื่นๆ ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นผลึกน้อยที่สุดนั่นเอง และใน Figure 2b พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสภาวะการอบแห้ง โดยพบว่าที่ตำแหน่ง 3320 2926 1639 และ 1080 cm^{-1} สอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชัน O-H C-H amide C=O (amide-I) และ C-O ตามลำดับ (Hazirah และคณะ, 2016)

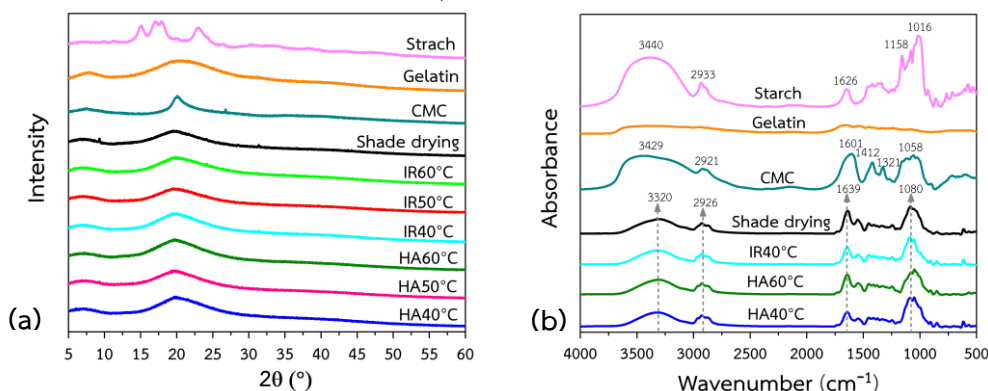


Figure 2 XRD (a) and FTIR (b) of starch, gelatin, CMC and dried ginger orally dissolving film.

จากผลการทดลองใน Table 2 พบว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 50 °C ทำให้ฟิล์มมีค่าความสว่างสูงกว่า แต่มีค่าสีแดงและสีเหลืองต่ำกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนและแบบผึ่งในที่ร่ม แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของสารองค์ประกอบในแผ่นฟิล์มระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่เอมีโนโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Riquelme และคณะ, 2015) เมื่อพิจารณาเวลาในการละลายในหลอดทดลองของฟิล์มซึ่ง พบว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดใช้เวลาในการละลายในหลอดทดลองน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน และพบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C ใช้เวลาในการละลายน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 40 °C และ 60 °C ทั้งการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและอินฟราเรด โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 50 °C ใช้เวลาในการละลายน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการที่แผ่นฟิล์มมีความเป็นผลึกต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีผลต่อความสามารถในการละลายของแผ่นฟิล์ม อย่างไรก็ตามพบว่าการผึ่งที่อุณหภูมิห้องใช้ระยะเวลาในการทำให้แผ่นฟิล์มละลายนานที่สุด ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการที่แผ่นฟิล์มมีลักษณะความไม่เป็นผลึกที่มากและมีพิกของหมู่ฟังก์ชันที่ตำแหน่ง 1639 cm^{-1} สูงกว่าการอบแห้งกรณีอื่นๆ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการละลายที่ต่ำ

เมื่อพิจารณาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าในสารสกัดซึ่งมีปริมาณของ 6-gingerol 8-gingerol 10-gingerol และ 6-shogaol เท่ากับ 336.61 2,164.82 4,235.45 และ 8,529.15 $\mu\text{g/g}$ dry solid และมีปริมาณสารทั้งหมดเท่ากับ 15,266.03 $\mu\text{g/g}$ dry solid จาก Table 2 พบว่าการอบแห้งฟิล์มซึ่งด้วยเทคนิคและอุณหภูมิต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารดังกล่าวได้ เนื่องจากเกิดการเสื่อมสลายของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างอบแห้ง (Ghasemzadeh และคณะ, 2018) โดยพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C สามารถรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C ซึ่งใช้เวลาในการ

อบแห้งนานกว่าและที่อุณหภูมิ 60 °C ที่แม้จะใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าแต่ใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในการอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งด้วยอินฟราเรดสามารถรักษารักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแผ่นฟิล์มซิงได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 50 °C สามารถรักษารักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าทั้งเทคนิคและอุณหภูมิอบแห้งส่งผลร่วมกันต่อการรักษารักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแผ่นฟิล์มซิง

Table 2 Moisture content, color, *in vitro* dissolution time and the bioactive compound contents of ginger orally dissolving film undergone different drying conditions

Sample	Moisture content (% d.b.)	Color			<i>In vitro</i> dissolution time (min)	Bioactive compound contents (µg/ g dry solid)				
		L*	a*	b*		6- gingerol	8- gingerol	10- gingerol	6- shogaol	Total
HA40°C	13.72	43.90	22.69	42.58	17.8	164.24	178.91	349.57	2244.59	2937.31
HA50°C	12.98	44.47	20.96	37.77	17.2	193.49	216.58	447.12	2322.39	3179.58
HA60°C	15.23	41.49	22.53	41.96	20.0	136.55	137.73	348.64	1310.46	1933.38
IR40°C	12.79	43.68	22.84	40.90	17.5	176.48	195.29	384.05	2511.62	3267.44
IR50°C	12.88	48.24	20.99	33.77	16.8	383.32	227.16	538.36	3269.83	4418.67
IR60°C	14.85	43.88	22.57	40.53	19.5	147.87	244.83	294.56	1809.76	2497.02
Shade drying	14.25	45.08	21.28	35.73	25.5	224.29	133.98	753.62	2460.06	3571.95

สรุปผล

การอบแห้งแผ่นฟิล์มซิงด้วยอินฟราเรดให้อัตราการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าการอบแห้งแผ่นฟิล์มด้วยอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 50 °C แสดงเวลาในการละลายในหลอดทดลองสั้นที่สุด และมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของซิงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่สภาวะอื่นๆ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed, AOAC International, Gaithersburg, Maryland.
- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H.Z., Baghdadi, A. and Tayebi-Meigooni, A., 2018, Formation of 6-, 8- and 10-Shogaol in Ginger through Application of Different Drying Methods: Altered Antioxidant and Antimicrobial Activity, *Molecules*, 23(7): 1646.
- Hazirah, M.N., Isa, M.I.N. and Sarbon, N.M., 2016, Effect of Xanthan Gum on the Physical and Mechanical Properties of Gelatin-Carboxymethyl Cellulose Film Blends, *Food Packaging and Shelf Life*, 9: 55–63.
- Heinemann, R.J.B., Vanin, F.M., Carvalho, R.A.D., Trindade, M.A. and Fávoro-Trindade, C.S., 2017, Characterization of Low Cost Orally Disintegrating Film (ODF), *Polímeros*, 27(1): 48–54.
- Niamnuy, C., Charoenchaitrakool, M., Mayachiew, P. and Devahastin, S., 2013, Bioactive Compounds and Bioactivities of *Centella asiatica* (L.) Urban Prepared by Different Drying Methods and Conditions, *Drying Technology*, 31(16): 2007–2015.
- Riquelme, N., Diaz-Calderón, P., Enrione, J. and Matiacevich, S., 2015, Effect of Physical State of Gelatin-Plasticizer Based Films on to the Occurrence of Maillard Reactions, *Food Chemistry*, 175: 478–484.
- Sungsinchai, S., Niamnuy, C., Jaree, A. and Devahastin, S., 2017, Influences of Pretreatment and Drying Methods on Composition, Micro/molecular Structures and Some Health-related Functional Characteristics of Dietary Fibre Powder from Orange Pulp Residues, *International Journal of Food Science & Technology*, 52(10): 2217–2229.
- Sungsinchai, S., Niamnuy, C., Wattanapan, P., Charoenchaitrakool, M. and Devahastin, S., 2019, Texture Modification Technologies and Their Opportunities for the Production of Dysphagia Foods: A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6): 1898–1912.