การทำแห้งแบบโฟมของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

Foam-mat Drying of Gac (*Momordica cochinchinesis*,Spreng) Aril

ธนวรรณ อวยศักดิ์ไชยงค์[1] และ ธนกร โรจนกร[1]

Tanawan Auisakchaiyoung[1] and Thanakorn Rojanakorn[1]

Abstract

Foam-mat drying involves the incorporation of foaming agent into liquid or semi-liquid foods with subsequent whipping to form stable foam. The foam is then spread as a thin mat on to a tray and dried in an air stream. In this process, dehydration is rapid, color and flavor are superior because of minimal heat damage and the process is achieved with minimal cost. Therefore, this study aimed to investigate the effect of methylcellulose concentrations (0, 1.0, 1.5 and 2.0%) and whipping times (0, 10, 20 and 25 min) on gac (*Momordica cochinchinesis*,Spreng) aril foam properties. Effect of drying temperature on drying behavior of gac aril foam was also determined. It was found that incorporation of 1.5% methylcellulose and whipping time of 25 min resulted in the foam with the lowest density and the highest stability ($p \leq 0.05$). Drying experiments showed that falling rate period was observed for gac aril foam dried at 60, 70 and 80°C. Drying rate increased with increasing temperature. Effective moisture diffusivity (D_{eff}) ranged from 4.68 x10^{-9} m^2/s at 60°C to 8.16 x10^{-9} m^2/s at 80 °C. The activation energy of gac aril foam drying in the range of temperature studied was found to be 27.36 kJ/kmol.

Keywords : foam-mat drying, gac fruit, methylcellulose

บทคัดย่อ

การทำแห้งแบบโฟมเกี่ยวข้องกับการเติมสารช่วยให้เกิดโฟมเข้าไปในอาหารเหลวหรือกึ่งเหลว แล้วนำไปตีปั่นจนทำให้เกิดโฟมที่คงตัว จากนั้นนำโฟมที่ได้ไปเกลี่ยเป็นแผ่นบางบนถาดและทำแห้งด้วยลมร้อน กระบวนการนี้จะเกิดการทำแห้งอย่างรวดเร็วจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีและรสชาติดี เนื่องจากมีการทำลายด้วยความร้อนน้อยและกระบวนการนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลของความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลส (ร้อยละ 0 1.5 และ 2.0) และเวลาในการตีปั่น (0 10 20 และ 25 นาที)ต่อคุณสมบัติของโฟมจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (*Momordica cochinchinesis*,Spreng) นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของอุณหภูมิขณะทำแห้งต่อพฤติกรรมการทำแห้งของโฟมจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยจากกาทดลอง พบว่าการเติมเมทิลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 1.5 และตีปั่น 25 นาที จะทำให้เกิดโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำสุดและมีความคงตัวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การทำแห้งโฟมจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในช่วงการทำแห้งลดลงโดยที่อัตราการทำแห้งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการทำแห้งที่เพิ่มขึ้น ค่าการแพร่ความชื้น (D_{eff}) จะอยู่ระหว่าง 4.68 x10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที ที่ 60 องศาเซลเซียส และ 608.16 x10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที ที่ 80 องศาเซลเซียส สำหรับค่าพลังงานกระตุ้นของการทำแห้งโฟมจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษามีค่าเป็น 27.36 กิโลจูลต่อกิโลโมล

คำสำคัญ : การทำแห้งแบบโฟม ฟักข้าว เมทิลเซลลูโลส

คำนำ

ฟักข้าวเป็นพืชในวงศ์แตง(Family Cucurbitaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Momordica cochinchinensis* Spreng. มีประโยชน์ทางโภชนาการและมีคุณค่าทางสมุนไพร จากงานวิจัยต่างๆ จะพบว่าในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดของฟักข้าวมีไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจึงช่วยยับยั้งการเกิดมะเร็งได้ ปกติแล้วผลฟักข้าวสดเน่าเสียได้ง่ายและอาจเกิดความเสียหายเชิงกลในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนส่งได้ ดังนั้นหากสามารถนำผลฟักข้าวโดยเฉพาะส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้งก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บยาวนานขึ้น สะดวกแก่การขนส่ง และสามารถ

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[1] Department of Food Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆต่อไป อย่างไรก็ตามในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดของผลฟักข้าวมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (ร้อยละ 7.9) จึงยากที่จะทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมาทำให้เกิดโฟมก่อนที่จะนำไปทำแห้ง ซึ่งวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือ การตรวจสอบผลของความเข้มข้นของสารเมทิลเซลลูโลส และเวลาในการตีปั่นต่อคุณภาพของโฟมจากรวมทั้งศึกษาถึงผลของอุณหภูมิขณะทำแห้งต่อพฤติกรรมการทำแห้งของโฟมจากเยื่อหุ้มเมล็ดของผลฟักข้าว

อุปกรณ์และวิธีการ

นำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว มาผสมกับสารละลายเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 1.0 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก แล้วตีปั่นด้วยความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 0 10 20 และ 25 นาที จากนั้นตรวจสอบคุณสมบัติของโฟม ซึ่งได้แก่ ความหนาแน่น ความคงตัว และการขยายตัวของโฟมตามวิธีของ Karim and Wai (1999) จากนั้นนำโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว มาเกลี่ยเป็นแผ่นบางบนถาดให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาพฤติกรรมในระหว่างการทำแห้งต่อไป

ผล

ผลของปริมาณเมทิลเซลลูโลสและเวลาในการตีปั่นต่อคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

จาก Table 1 พบว่า การใช้เมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ตีปั่นให้เกิดโฟมเป็นเวลา 25 นาที ทำให้โฟม เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว มีความหนาแน่นต่ำสุด ($p \leq 0.05$) เป็น 0.595 (g/ml) มีค่าการขยายตัวสูงสุดเป็นร้อยละ 88.696 ($p \leq 0.05$) และมีความคงตัวสูงคือไม่มีของเหลวแยกออกจากโฟมภายในเวลาที่กำหนด ดังนั้นจึงเลือกสภาวะดังกล่าวเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

Table 1 Foam properties with various amounts of methylcellulose (MC) and whipping time

Level (MC) (%)	Whipping time (min)	Foam properties		
		Density (g/ml)	Expansion (%)	Stability (ml)
0.0	0	1.003±0.002^{a}	3.157±0.000^{i}	6.250±0.353^{bc}
	10	0.977±0.015^{ab}	8.420±1.488^{fg}	6.000±0.000^{cb}
	20	0.991±0.004^{a}	9.473±2.976^{fg}	6.500±0.707^{cb}
	25	0.997±0.001^{a}	10.933±1.508^{f}	5.750±0.353^{bcde}
1.0	0	1.000±0.0001^{a}	4.003±2.746^{hi}	6.750±0.353^{b}
	10	0.958±0.036^{ab}	19.144±0.320^{e}	6.250±0.353^{cd}
	20	0.923±0.012^{b}	22.832±1.028^{e}	5.500±0.707^{cde}
	25	0.842±0.013^{e}	29.913±5.855^{d}	4.950±0.070^{def}
1.5	0	1.017±0.019^{a}	3.469±0.441^{hi}	5.250±0.353^{c}
	10	0.971±0.003^{b}	23.480±1.031^{e}	4.125±0.530^{f}
	20	0.908±0.078^{c}	31.035±0.233^{d}	5.750±1.060^{bcd}
	25	0.595±0.0003^{f}	88.696±1.805^{a}	0.000±0.000^{f}
2.0	0	1.001±0.00007^{a}	5.498±0.631^{g}	7.875±0.883^{a}
	10	0.856±0.031^{e}	29.478±0.351^{d}	4.750±0.353^{e}
	20	0.643±0.029^{f}	74.020±3.676^{b}	1.250±0.353^{g}
	25	0.630±0.013^{f}	62.861±1.754^{c}	1.000±0.000^{h}

Means within the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$) by Duncan's multiple range test

ผลของอุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งต่อค่าการแพร่ความชื้น (moisture diffusivity)

จาก Figure 1 พบว่า การทำแห้งโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เกิดขึ้นใน ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) อย่างไรก็ตามพบว่าในช่วง 5 นาที แรกของการทำแห้งพบช่วงการปรับตัว (heat up period) เกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะสูงกว่าที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียสเฉพาะในช่วง 35 นาทีแรกของการทำแห้งเท่านั้น สำหรับค่าการแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงใน Table 2

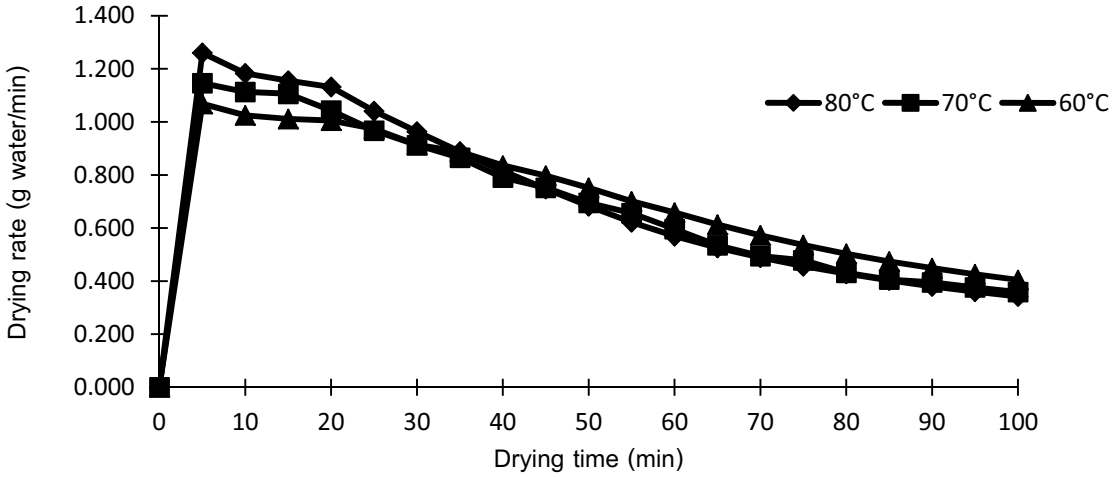

Figure 1 Drying rate of gac aril foam at different temperatures as a function of drying time

Table 2 Moisture diffusivity of gac aril foam dried at different temperatures

Temperature (°C)	Moisture diffusivity (m^2/s)
60	4.68×10^{-9}
70	7.42×10^{-9}
80	8.16×10^{-9}

จาก Tabel 2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 80 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าการแพร่ของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 4.68×10^{-9} m^2/s เป็น 8.16×10^{-9} m^2/s สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแพร่ของน้ำกับอุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งสามารถอธิบายได้โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Arrhenius ดังนี้

$$D = 9.707 \times 10^{-5} exp\left[\frac{-27360.54}{RT}\right] \qquad (R^2 = 0.885) \qquad (1)$$

จากสมการที่ (1) พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ในช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียส มีค่าเป็น 27.36 กิโลจูลต่อกิโลโมล

วิจารณ์ผล

จากการทดลองพบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลสในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว และเพิ่มเวลาในการตีปั่นทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง การขยายตัวของโฟมเพิ่มขึ้น และมีความคงตัวเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งค่าการขยายตัวของโฟมที่เพิ่มขึ้น ชี้ให้เห็นว่าโฟมสามารถดักจับอากาศได้มากขึ้น และเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทิลเซลลูโลส จากร้อยละ 1.5 เป็น 2.0 ที่เวลา 25 นาที พบว่าการเติมเมทิลเซลลูโลส ร้อยละ 1.5 ทำให้โฟมมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดและมีการขยายตัวของโฟมสูงกว่าการเติมเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 2.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเมทิลเซลลูโลสที่มากกว่าร้อยละ 1.5 อาจจะทำให้ความหนืดของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

มากกว่าค่าความหนืดที่ยอมให้ฟองอากาศแทรกตัวเข้าไปได้สูงสุด ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hart *et al.* (1963) ซึ่งพบว่าค่าความหนาแน่นของโฟมที่เหมาะสมสำหรับนำไปทำแห้งควรอยู่ในระหว่าง 0.4-0.6 g/cm^3 เพราะโฟมที่มีความหนาแน่นในช่วงดังกล่าวจะมีความคงตัวสูงและไม่เกิดการยุบตัวในระหว่างการทำแห้ง

ในการทำแห้งโฟมเยื่อหุ้มเล็ดฟักข้าว พบว่าในช่วง 35 นาที แรกของการทำแห้งนั้น อัตราการทำแห้งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นพบว่าอัตราการทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เริ่มสูงกว่าที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากในช่วง 35 นาทีแรกของการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส น้ำระเหยออกจากโฟมได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นภายหลังจาก 35 นาที ของการทำแห้งตัวอย่างโฟมที่ทำแห้งที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเหลือปริมาณน้ำมากกว่าที่ อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส จึงทำให้มีปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปต่อหน่วยเวลาของการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สูงกว่าในทั้งสองอุณหภูมิ และพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 80 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าการแพร่ของน้ำสูงขึ้นด้วย

สรุป

การเติมเมทิลเซลลูโลสลงในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ร้อยละ 1.5 และเวลาตีปั่น 25 นาที ทำให้โฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดและมีการขยายตัวสูงสุด ($p \leq 0.05$) รวมทั้งมีความคงตัวสูงสุดด้วย การทำแห้งโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงการทำแห้งลดลงโดยที่ในช่วง 35 นาที แรกของการทำแห้งนั้น อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในระหว่างการทำแห้งเพิ่มขึ้น ค่าการแพร่ความชื้น (D_{eff}) อยู่ระหว่าง 4.68 x10^{-9} m^2/sที่ 60 องศาเซลเซียส และ 8.16 x10^{-9} m^2/s ที่ 80 องศาเซลเซียส สำหรับค่าพลังงานกระตุ้นของการทำแห้งโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษามีค่าเป็น 27.36 กิโลจูลต่อกิโลโมล

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว : หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยี ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Hart, M. R., R. P. Graham, I.F. Ginnette and A. I. Morgan. 1963. Foams for foam-mat drying. Food Technol. 17(10): 90-92.

Karim, A. A. and C. C. Wai. 1999. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. Food Chemistry 64:337-343.

Thuwapanichayanan. R., S. Prachayawarakorn and S. Soponronnarit. 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat. Jounal Food Engineering 86:573-583.