บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

การทดลองนี้ใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด คือ กล้วยไข่ (Musa suerier) และกล้วยน้ำว้า (Musa sapientum Linn.)ที่ซื้อจากตลาดสดสามย่าน โดยมีเกณฑ์ในการคัดวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด คือเลือกวัตถุดิบที่มีขนาดสม่ำเสมอ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตรและเปลือกยังคงมีสีเขียวอมเหลือง เมื่อคัดเลือกวัตถุดิบได้แล้ว นำมาปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นให้มีความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร หลังจากนั้นเตรียมวัตถุดิบแต่ละชนิดให้มีระดับความชื้นต่าง ๆ กัน 3 ระดับคือ 50%,60% และ70% สำหรับกล้วยไข่และ 45%, 55% และ 65% สำหรับกล้วยน้ำว้า ซึ่งระดับความชื้น 70% ของกล้วยไข่และ 65% ของกล้วยน้ำว้านี้เป็นความชื้นเริ่มต้นที่มีอยู่ในกล้วยทั้งสองชนิด ส่วนที่ระดับความชื้นอื่น ๆ ได้จากการนำวัตถุดิบที่หั่นได้ขนาดตามต้องการแล้วไปอบใน tray dryer ที่อุณหภูมิ 80 °C จนได้ระดับความชื้นตามต้องการ

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ทำการวิเคราะห์ความชื้น ไขมัน เส้นใย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ในตัวอย่างกล้วยทั้งสองชนิด ตามวิธี AOAC (1980) (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

3.3 ขอบเขตการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความร้อนของกล้วยกับความชื้น และอุณหภูมิโดยทำการทดลองใน 2 ช่วงอุณหภูมิ คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1 ช่วงอุณหภูมิสูง สำหรับค่าความร้อนจำเพาะและค่าสภาพนำความร้อน (60-100 °C) แบ่งเป็น 3 ระดับคือ 60 - 65 °C , 80 - 85 °C และ 95 - 100 °C สำหรับค่าสภาพแพร่ความร้อน (60 - 101 °C) แบ่งเป็น 3 ระดับคือ 60 - 70 °C, 80 - 90 °C และ 95 - 101 °C

3.3.2 ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ สำหรับค่าความร้อนจำเพาะและค่าสภาพนำความร้อน (-30 ถึง -10 °C) แบ่งเป็น 3 ระดับคือ -10 ± 1 °C ,-18 ± 1 °C และ -30 ± 1 °C สำหรับค่าสภาพแพร่ความร้อน (-30.1 ถึง 0 °C) แบ่งเป็น 3 ระดับคือ 0 ถึง -10 °C, -5.5 ถึง -18.5 °C และ -16.1 ถึง -30.1 °C

ในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะศึกษาตัวแปรปริมาณความชื้นของกล้วยแบ่งเป็น 3 ระดับต่าง ๆ ดังนี้

ก. กล้วยไข่สดความชื้นร้อยละ 70 ± 2 กล้วยไข่อบแห้งที่ความชื้นร้อยละ 60 ± 2 และความชื้นร้อยละ 50 ± 2

ข. กล้วยน้ำว้าสดความชื้นร้อยละ 65 ± 2 กล้วยน้ำว้าอบแห้งที่ความชื้นร้อยละ 55 ± 2 และความชื้นร้อยละ 45 ± 2

วางแผนการทดลองแบบ factorial โดยในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีตัวแปร 2 ตัว คือ ความชื้น 3 ระดับ และอุณหภูมิ 3 ระดับ และในแต่ละความชื้นและอุณหภูมิ จะทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4 การวัดและคำนวณค่าสมบัติทางความร้อน

3.4.1 ความร้อนจำเพาะ

การทดลองนี้เลือกใช้วิธี modified method of mixture เพราะวิธีนี้ไม่มีปัญหาเรื่องการละลายของตัวอย่างในสารตัวกลาง จึงกำจัดปัญหาเกี่ยวกับค่าความร้อนของการละลายไปได้ การคำนวณค่าความร้อนจำเพาะใช้หลักการอนุรักษ์พลังงาน เครื่องมือที่ใช้คือแคลอริมิเตอร์ที่ประกอบขึ้น โดยใช้กระติกน้ำร้อนที่มีลักษณะเป็น vacuum - jacket ซึ่งช่องบรรจุตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร และภายนอกใช้กล่องโฟมที่มีความหนา 5เซนติเมตร และเม็ดโฟมทำหน้าที่เป็นฉนวนเพื่อการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแคลอริมิเตอร์

3.4.1.1 การวัดค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ในการวัดค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ใช้น้ำเป็นสารอ้างอิง (ความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 cal/g - °C) ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. ใส่น้ำ 400 กรัมในแคลอริมิเตอร์ ปล่อยให้อุณหภูมิของน้ำและแคลอริมิเตอร์คงที่ที่อุณหภูมิห้อง

ข. ใส่น้ำ 120 กรัมในถุงโพลีเอทธิลีน แช่ถุงน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 65 °C จนอุณหภูมิของน้ำในถุงสมดุลกับอุณหภูมิของน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

ค. บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ และในถุงโพลีเอทธิลีนก่อนผสมโดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

ง. นำถุงที่บรรจุน้ำใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำอยู่ แล้วปิดฝาทันที

จ. บันทึกอุณหภูมิของน้ำในแคลอริมิเตอร์ทุก 1 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีการเขย่าแคลอริมิเตอร์อย่างสม่ำเสมอ

ฉ. สร้างกราฟระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้กับเวลา อ่านค่าอุณหภูมิและเวลาสมดุล (T_F, t_F) และหาความชันของกราฟเส้นตรงในช่วงหลังภาวะสมดุล (dT/dt)

ช. คำนวณความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์จากสมการ(3.1)

$$C_{pc} \cdot W_c \cdot T_{oc} + C_{pw} \cdot W_w \cdot T_{ow} + H_k \cdot T_{ok} = C_{pc} \cdot W_c \cdot T_{fc} + C_{pw} \cdot W_w \cdot T_{fw} + H_k \cdot T_{fk} - Z \quad ...(3.1)$$

ใช้แคลอริมิเตอร์ที่ทราบค่าความจุความร้อน หาค่าความร้อนจำเพาะของกล้วยใน 2 ช่วงอุณหภูมิ คือ ในช่วงอุณหภูมิสูงและช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

3.4.1.2 การหาค่าความร้อนจำเพาะของกล้วย ทำเช่นเดียวกับการหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ แต่ใช้ตัวอย่างกล้วยใส่ในถุงโพลีเอทธิลีนแทนน้ำ เตรียมตัวอย่างกล้วยให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ (สำหรับในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำใช้น้ำที่อุณหภูมิ 65 °C ใส่ในแคลอริมิเตอร์แทน) คำนวณค่าความร้อนจำเพาะตามสมการ (3.1) แต่สำหรับในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ จะมีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งในกล้วยมาเกี่ยวข้อง เนื่องจากมีการเปลี่ยนสถานะของน้ำแข็งในกล้วยไปเป็นน้ำในระหว่างการทดลองดังสมการ (3.2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$C_{pc}.W_c.T_{oc}+C_{pw}.W_w.T_{ow}+H_k.T_{ok}+LH = C_{pc}.W_c.T_{fc}+C_{pw}.W_w.T_{fw}+H_k.T_{fk}-Z \quad ...(3.2)$$

เมื่อ LH = ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งในกล้วย (cal)

= [ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง (80 cal/g) x % ความชื้นของกล้วย] . W_c

3.4.2 ค่าสภาพนำความร้อน

ในการหาค่าสภาพนำความร้อนของกล้วยเลือกใช้วิธี transient โดยใช้ thermal conductivity probe เนื่องจากใช้เวลาในการทดลองสั้น และเหมาะกับอาหารที่มีความชื้นสูง จึงนิยมใช้ในการหาค่าสภาพนำความร้อนในผักและผลไม้ต่าง ๆ (Sweat,1974; Lazano et al., 1979) ผลิตภัณฑ์นมและเนยเทียม (Sweat, 1978) และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Baghe-Khandan et al.,1982) thermal conductivity probe ที่ใช้ประกอบด้วยเข็มฉีดยาซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร ยาว 31.1 มิลลิเมตร ภายใน probe บรรจุ heater wire และ thermocouple type T (copper -constantan)

3.4.2.1 การหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ของ probe ใช้ thermal conductivity probe ในการหาค่าสภาพนำความร้อนของกล้วย โดยใช้เครื่องแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงที่มีความต่างศักย์ 1.5 โวลต์เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน หาค่าพลังงานความร้อนที่ให้โดยใช้กลีเซอรีน (ค่าสภาพนำความร้อน เท่ากับ 0.285 W / m-K ที่ 20 °C) ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. เสียบ thermal conductivity probe ลงในกลีเซอรีนที่มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20 °C

ข. ต่อสาย thermocouple ของ probe เข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ(CHINO model 015 accuracy ± 0.1 °C) และรอจนอุณหภูมิของกลีเซอรีนคงที่

ค. ให้พลังงานความร้อน แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกลีเซอรีนทุก 1 วินาที เป็นเวลา 60 วินาที

ง. สร้างกราฟของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กับ ln(t) จะได้กราฟเส้นตรง คำนวณค่าพลังงานความร้อนที่ใช้จากสมการ (3.3)

$$Q = 4 \pi m k \qquad ...(3.3)$$

ในการหาค่าสภาพนำความร้อนของกล้วย จะต้องมีการหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ของ probe ก่อนทุกครั้ง การหาค่าสภาพนำความร้อนจะทดลองใน 2 ช่วงอุณหภูมิคือ ในช่วงอุณหภูมิสูง และช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

3.4.2.2 **การหาค่าสภาพนำความร้อนของกล้วย** ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 3.4.2.1 แต่เปลี่ยนจากกลีเซอรีนเป็นกล้วย และใส่ใน stainless tube ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.54 เซนติเมตร สูง 7.62 เซนติเมตร เตรียมตัวอย่างกล้วยให้ได้อุณหภูมิคงที่ตามที่ต้องการ แล้วคำนวณค่าสภาพนำความร้อนจากสมการ (2.3) โดยทำการทดลองประมาณ 5 - 6 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.4.3 ค่าสภาพแพร่ความร้อน

ในการหาค่าสภาพแพร่ความร้อนของกล้วยใช้ thermal diffusivity tube (Bhowmik and Hayakawa, 1979) ซึ่งเหมาะกับตัวอย่างของแข็งเพราะไม่ต้องคำนึงถึงค่าการพาความร้อนที่จะเกิดขึ้น เครื่องมือที่ใช้คือ thermal diffusivity tube และอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดย thermal diffusivity tube มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกทำด้วย stainless steel หนา 1 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.54 เซนติเมตร ยาว 22.86 เซนติเมตร ฝาทำด้วย stainless steel และมีปะเก็นยางรูปวงแหวนหนา 2 มิลลิเมตร อยู่ตรงกลางเพื่อกันการรั่วซึม ใช้ thermocouple type T ที่มีลักษณะเป็น probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร มีความยาวครึ่งหนึ่งของท่อ สำหรับวัดอุณภูมิของตัวอย่างตรงจุดกึ่งกลางท่อ ส่วนอ่างควบคุมอุณหภูมิมีความจุ 22 ลิตร มีการให้ความร้อนในอัตราคงที่และมีท่อสำหรับเป่าลมเพื่อให้ความร้อนกระจายสม่ำเสมอ

การหาค่าสภาพแพร่ความร้อนของกล้วยแบ่งเป็น 2 ช่วงอุณหภูมิคือ ช่วงอุณหภูมิสูง และช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

3.4.3.1 **การหาค่าสภาพแพร่ความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิสูง** ใช้น้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี (น้ำมันพืชมรกต) เป็นตัวกลางให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. เลือกกล้วยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2.54 เซนติเมตร หั่นเป็นชิ้นให้มีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของ thermal diffusivity tube บรรจุลงในท่อให้เต็ม ปิดฝา แล้วเสียบ thermocouple ลงทางด้านบน เพื่อวัดอุณหภูมิของตัวอย่างกล้วยที่ตรงกลางท่อ

ข. นำ thermal diffusivity tube แช่ลงในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งอุณหภูมิไว้ตามต้องการ ทิ้งไว้จนอุณหภูมิของกล้วยในท่อเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

ค. เปิดเครื่องทำความร้อนที่อ่างควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งอัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงที่ (0.2 °C/min)

ง. บันทึกอุณหภูมิของน้ำมันในอ่างควบคุมอุณหภูมิและของกล้วยในท่อทุก 1 นาที เป็นเวลานาน 60 นาที

จ. สร้างกราฟระหว่างค่าอุณหภูมิที่วัดได้กับเวลา และคำนวณค่าสภาพแพร่ความร้อนของกล้วยจากสมการ (2.7)

3.4.3.2 **การหาค่าสภาพแพร่ความร้อน ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ**ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1 แต่ใช้สารละลาย propylene glycol ใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิแทนน้ำมัน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ก. บรรจุกล้วยลงใน thermal diffusivity tube ปิดฝา นำไปแช่ในตู้แช่แข็ง ให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ

ข. นำสารละลาย propylene glycol ไปแช่ในตู้แช่แข็งจนได้อุณหภูมิตามต้องการ แล้วจึงนำมาใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และอาจใช้น้ำแข็งแห้งช่วยลดอุณหภูมิ โดยใส่น้ำแข็งแห้งลงในสารละลาย propylene glycol ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ

ค. นำท่อที่บรรจุกล้วยจากข้อ ก. มาใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิในข้อ ข. ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของกล้วยในท่อเท่ากับอุณหภูมิของสารละลาย propylene glycol ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

ง. เปิดเครื่องทำความร้อนที่อ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยปรับให้มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 0.2 °C/min

จ. บันทึกอุณหภูมิและคำนวณผล เช่นเดียวกับการหาค่าสภาพแพร่ความร้อนในช่วงอุณหภูมิสูง

3.5 รวบรวมผลการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองของค่าสมบัติทางความร้อนคือ ความร้อนจำเพาะ ค่าสภาพนำความร้อน และสภาพแพร่ความร้อน ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และความแตกต่างของค่าสมบัติทางความร้อนที่ความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ t - test (รายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ข) วิเคราะห์ความแปรปรวนผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อค่าสมบัติทางความร้อนแต่ละค่า และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนของกล้วยกับความชื้นและอุณหภูมิ โดยการทำ multiple linear regression ของข้อมูลทั้งหมดในรูปแบบสมการต่าง ๆ คือ สมการเส้นตรง และสมการกำลังสองของความชื้นและอุณหภูมิ และเลือกสมการแสดงความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด โดยการพิจารณาจากค่า R^2 และความสำคัญของเทอมต่างๆในสมการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย