

สมบัติเชิงกายภาพของข้าวโพดหวาน

Physical Properties of Sweet Corn

ปานมนัส ศิริสมบุญ¹ และพัชรี คล้ายมณี¹

Panmanas Sirisomboon¹ and Phatcharee Klaimanee¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกายภาพของข้าวโพดหวาน โดยส่วนของฝักที่ทำการวัดคือ เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวต่างๆ ความยาว ปริมาตร ความหนาแน่นเนื้อปรากฏ และพื้นที่ผิว ส่วนของเปลือก เมล็ดและแกนที่ทำการวัด คือ ความหนา ปริมาตร ความหนาแน่นเนื้อ พื้นที่ผิวและ สัดส่วนความชื้น (ฐานเปียก) ซึ่งนำมาคำนวณค่าความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน จากสมการที่เป็นฟังก์ชันกับความชื้น ผลการทดลองสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนที่ได้จากการคำนวณ สำหรับค่าเฉลี่ยที่สำคัญของข้าวโพดทั้งฝัก ได้แก่ ความยาวของฝักข้าวโพดเท่ากับ 21.16 cm ความหนาแน่นเนื้อปรากฏเท่ากับ 0.47 g/cm^3 และพื้นที่ผิว 512.53 cm^2 สำหรับค่าที่สำคัญของเมล็ดข้าวโพด ได้แก่ ความหนาในแนวตั้งฉากกับแกนที่ยาวที่สุดเท่ากับ 1.08 cm ความหนาแน่นเนื้อเท่ากับ 0.98 g/cm^3 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ $0.49 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ความร้อนจำเพาะเท่ากับ $3.39 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ และสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนเท่ากับ $0.15 \text{ m}^2/\text{s}$ ซึ่งสมบัติเชิงกายภาพของข้าวโพดหวานเหล่านี้เป็นตัวแปรเริ่มต้นของแบบจำลองการทำนายอุณหภูมิภายในของข้าวโพดหวานระหว่างการทำ hydrocooling เพื่อให้สามารถออกแบบกระบวนการลดอุณหภูมิ ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และสามารถนำตัวแปรเหล่านี้ไปใช้ในแบบจำลองทางความร้อนและความเย็นอื่นได้อีกด้วย

คำสำคัญ: สมบัติเชิงกายภาพ ข้าวโพดหวาน

ABSTRACT

This research studied the physical properties of sweet corn. The properties of the sweet corn ear measured were diameters in different directions, length, volume, apparent density and surface area. The properties of the sweet corn peel, seed, and cob measured were thickness, volume, density and moisture content (wet basis). The moisture content was used for calculation of specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity from formulae. Some average value of the important properties of sweet corn ear included the length of 21.16 centimeters, apparent density of 0.47 g/cm^3 and surface area of 512.53 cm^2 . The important average values of sweet corn seed included the vertical thickness perpendicular to the longest axis of 1.08 cm, solid density of 0.98 g/cm^3 , thermal

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

conductivity of 0.49 W/m·K, specific heat of 3.39 kJ/kg·K and thermal diffusivity of 0.15 m²/s. These properties will be the input variables for the model for prediction of temperature in sweet corn during hydrocooling which can be used for the design of the most effective precooling process. These variables can also be used for the models of other heating and cooling processes.

Keywords : physical properties, sweet corn

E-mail : oom-naka@hotmail.com

คำนำ

ข้าวโพดหวาน เป็นพืชอาหารเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ ในแต่ละวันมีการบริโภคและใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวโพดหวานเป็นจำนวนมาก สามารถจำหน่ายได้ทั้งตลาดบริโภคสดและส่งโรงงานอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋อง ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานจำนวนมาก โดยปลูกแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทางตะวันตกของประเทศไทย (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2551)

Dilip Jain และ Pankaj Pathare ในปี 2007 ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายอุณหภูมิของปลาในน้ำแข็ง โดยใช้สมบัติทางกายภาพ คือ ปริมาตรของปลา วัดโดยใช้แทนที่น้ำ (Rahman, 1995) ความหนาแน่นของปลา คือ น้ำหนักหารด้วยปริมาตร และ พื้นที่ผิวของปลาหาโดยวิธี Simpson (Sastry, 1985) และสัดส่วนความชื้นของปลา เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายอุณหภูมิของปลาในน้ำแข็ง และหาข้อมูลการทำความเย็น เช่น สัมประสิทธิ์การทำความเย็น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิวเฉลี่ย half cooling time และ 7/8 cooling time และสมบัติเชิงความร้อน คือ ความต้านทานความร้อน ความจุความร้อน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกายภาพของข้าวโพดหวาน โดยส่วนของฝักที่ทำการวัดคือ เส้นผ่านศูนย์กลางในแนวต่างๆ ความยาว ปริมาตร ความหนาแน่นเนื้อปรากฏ และพื้นที่ผิว ส่วนของเปลือกเมล็ดและแกนที่ทำการวัด คือ ความหนา ปริมาตร ความหนาแน่นเนื้อ พื้นที่ผิวและ ความชื้น(ฐานเปียก) ซึ่งนำมาคำนวณค่าความร้อนจำเพาะ, สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน จากสมการที่เป็นฟังก์ชันกับความชื้น ซึ่งเป็นตัวแปรเริ่มต้นของแบบจำลองการทำนายอุณหภูมิภายในของข้าวโพดหวานระหว่างการทำ hydrocooling เพื่อทำให้สามารถออกแบบกระบวนการลดอุณหภูมิ ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และสามารถนำตัวแปรเหล่านี้ไปใช้ในแบบจำลองทางความร้อนและความเย็นอื่นได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ตัวอย่าง

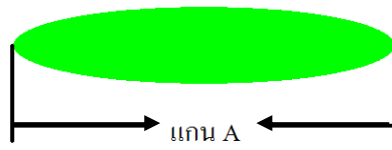
ข้าวโพดหวาน (*Zea mays*) พันธุ์ไฮบริดส์-3 ซึ่งนำมาจากไร่ในดอนเข้าจาก อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และทำการทดลองทันที โดยลอกเปลือกออกบางส่วน ดังรูปที่ 1



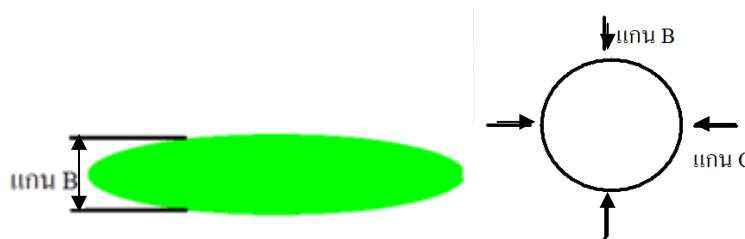
รูปที่ 1 ข้าวโพดที่ลอกเปลือกออกบางส่วนแล้ว

2. การหาสมบัติทางกายภาพของข้าวโพดหวาน (ปานมันส์และคณะ, 2538)

2.1 ขนาดของข้าวโพด วัดขนาดฝักด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล (ABSOLUTE DIGIMATIC รุ่น 500-173 ขนาด 300 mm ความละเอียด 0.01 mm) โดย วัดความยาวเป็นเส้นตรงทั้งหมด 3 แกน คือ 1) แกน A คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดของฝัก ดังรูปที่ 2 2) แกน B คือ วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับแกน A และ 3) แกน C คือ วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตั้งฉากกับแกน A และแกน B ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดของฝัก



รูปที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางแกน B และแกน C

2.2 ความหนาของเปลือก เมล็ด และแกนข้าวโพด ในด้านตั้งฉากกับแกนที่ยาวที่สุด วัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล (ABSOLUTE DIGIMATIC รุ่น 500-173 ขนาด 300 mm ความละเอียด 0.01 mm) ก่อนลอกเปลือกทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือตรงกลางฝักข้าวโพด 1 ตำแหน่ง ตรงกลางของฝักชวา และฝักซ้ายของฝักข้าวโพด อย่างละ 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4 โดยวัดตำแหน่งละ 2 ครั้งคือ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตั้งฉากกับเส้นผ่านศูนย์กลางเดิมอีกครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ปอกเปลือกข้าวโพดแล้วทำเหมือนกับฝักข้าวโพดก่อนปอกเปลือก แกะเมล็ดออกให้เหลือแต่แกนแล้วทำเหมือนกับฝักข้าวโพดก่อนปอกเปลือก คำนวณความหนาของเปลือก เมล็ด และแกนข้าวโพด ในสมการที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ตำแหน่ง

$$\text{ความหนาของเปลือก (mm)} = \frac{\phi \text{ ของทั้งฝัก} - \phi \text{ ของข้าวโพดที่ปอกเปลือก}}{2} \quad (1)$$

$$\text{ความหนาของเมล็ด (mm)} = \frac{\phi \text{ ของทั้งฝัก} - (\text{ความหนาของเปลือก} \times 2) - \phi \text{ ของแกนข้าวโพด}}{2} \quad (2)$$

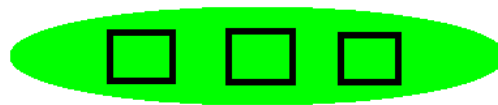
$$\text{ความหนาของแกน (mm)} = \frac{\phi \text{ ของแกนข้าวโพด}}{2} \quad (3)$$

โดย ϕ คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

2.3 ปริมาตรของเปลือก เมล็ด แกน และทั้งฝักข้าวโพด

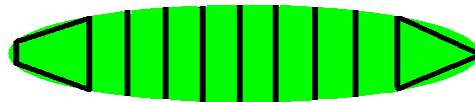
1) **ปริมาตรของเปลือก** ตัดเปลือกข้าวโพดทั้งความหนาออกเป็น 30 x 30 mm 3 ตำแหน่ง คือตรงกลางฝักข้าวโพด 1 ตำแหน่ง ตรงกลางของฝักขวาและฝักซ้ายของฝักข้าวโพด อย่างละ 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 5 แล้วหาค่าเฉลี่ย ความหนาของข้าวโพดหาได้จากการวัดขนาดในข้อ 2.1 คำนวณ V ได้จากสมการที่ 4

$$\begin{aligned} V &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\ &= 30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times \text{ความหนาของเปลือก (mm)} \end{aligned} \quad (4)$$



รูปที่ 5 การตัดเปลือกข้าวโพดขนาด 30X30 mm 3 ตำแหน่ง

2) **ปริมาตรแกน และทั้งฝักข้าวโพด** ข้าวโพดจะถูกแบ่งออกตามยาวเป็นชิ้นขนาดเท่าๆกัน กว้าง 20 mm และส่วนที่เหลือตรงส่วนปลายฝักทั้ง 2 ด้าน ให้คิดเป็นทรงกรวยและทรงกรวยตัด ดังรูปที่ 6 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของตรงกลางแต่ละส่วนด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล (ABSOLUTE DIGIMATIC รุ่น 500-173 ขนาด 300 mm ความละเอียด 0.01 mm) โดยวัดตำแหน่งละ 2 ครั้งคือ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตั้งฉากกับเส้นผ่านศูนย์กลางเดิมอีกครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย คำนวณปริมาตรทรงกระบอกได้จากสมการที่ 5 ปริมาตรทรงกรวย ปริมาตรของทรงกรวยตัด และ ปริมาตรของฝักข้าวโพดทั้งหมด ได้จากสมการที่ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ สำหรับแกนข้าวโพดก็ทำเช่นเดียวกันกับฝักข้าวโพดทั้งฝัก



รูปที่ 6 การแบ่งข้าวโพดออกเป็นชิ้นๆ

$$\text{ปริมาตรทรงกระบอกแต่ละส่วน} = \pi \times \text{รัศมีของทรงกระบอกแต่ละส่วน}^2 \times \text{ความกว้างของทรงกระบอกแต่ละส่วน} \quad (5)$$

$$\text{ปริมาตรทรงกรวย} = \frac{1}{3} \pi \times \text{รัศมีของฐาน}^2 \times \text{ความสูง} \quad (6)$$

$$\text{ปริมาตรทรงกรวยตัด} = \frac{1}{3} \pi \times \text{ความสูง} \times (\text{รัศมีของฐาน}^2 + \text{รัศมีของยอด}^2 + (\text{รัศมีของฐาน} \times \text{รัศมีของยอด})) \quad (7)$$

$$\text{ปริมาตรของฝักข้าวโพดทั้งหมด} = \text{ปริมาตรของทรงกระบอกรวม} + \text{ปริมาตรกรวย} + \text{ปริมาตรของทรงกรวยตัด} \quad (8)$$

3) **ปริมาตรของเมล็ด** หาด้วยการแทนที่เมล็ดข้าวโพดด้วย Toluene ใน Volumetric flask ขนาด 200 cm³ คำนวณปริมาตรของเมล็ดข้าวโพดจากสมการที่ 9

$$V_m = \frac{m_L}{\rho_L} \quad (9)$$

โดยที่

V_m คือปริมาตรของเมล็ดข้าวโพด (cm³)

m_L คือมวลของ Toluene ที่ถูกแทนที่ (g)

ρ_L คือความหนาแน่นของ Toluene (เท่ากับ 0.867 g/cm³)

2.4 ความหนาแน่นของเปลือก เมล็ด แขน และทั้งฝักข้าวโพด

1) ความหนาแน่นเนื้อปรากฏของเปลือก ซึ่งน้ำหนักเปลือกที่ได้จากการหาปริมาตร 3 ตำแหน่ง ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (SHIMADZU รุ่น BX300 ขนาด 300 g ความละเอียด 0.001 g) และคำนวณความหนาแน่นเนื้อของเปลือกข้าวโพด ตามสมการที่ 10

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (10)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นเนื้อ (g/cm³)
 m คือ มวล (g)
 V คือ ปริมาตร (cm³)

2) ความหนาแน่นเนื้อปรากฏของแกน และทั้งฝักข้าวโพด ซึ่งน้ำหนักแกน และทั้งฝักข้าวโพด ที่ได้จากการหาปริมาตร ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (OHAUSS รุ่น ARC 120 ขนาด 3000 g ความละเอียด 0.01 g) และคำนวณความหนาแน่นเนื้อของแกน และทั้งฝักข้าวโพด ตามสมการที่ 10

3) ความหนาแน่นเนื้อของเมล็ด นำน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการชั่งในขั้นตอนการหาปริมาตร ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (SHIMADZU รุ่น BX300 ขนาด 300 g ความละเอียด 0.001 g) มาคำนวณความหนาแน่นเนื้อของเมล็ดข้าวโพด จากสมการที่ 10

2.5 พื้นที่ผิวของทั้งฝักข้าวโพด นำรัศมีแต่ละส่วนของทรงกระบอก ทรงกรวย และทรงกรวยตัดจากการหาปริมาตรข้าวโพดทั้งฝัก มาคำนวณพื้นที่ผิวทรงกระบอกแต่ละส่วน พื้นที่ผิวด้านข้างของทรงกรวย และพื้นที่ผิวด้านข้างรวมกับพื้นที่ผิวยอดของทรงกรวยตัด ได้จากสมการที่ 11, 12, 13 และ 14 ตามลำดับ

$$\text{พื้นที่ผิวทรงกระบอกแต่ละส่วน} = 2\pi r \times \text{รัศมีของทรงกระบอกแต่ละส่วน} \times \text{ความสูงของทรงกระบอกแต่ละส่วน} \quad (11)$$

$$\text{พื้นที่ผิวด้านข้างกรวย} = \pi \times \text{รัศมีของฐาน} \times \text{ความสูงเอียง} \quad (12)$$

$$\text{พื้นที่ผิวด้านข้างกรวยตัด} = \pi \times \text{สูงเอียง} \times (\text{รัศมีของยอด} + \text{รัศมีของฐาน}) \quad (13)$$

$$\text{พื้นที่ผิวยอดของทรงกรวยตัด} = \pi \times \text{รัศมีของยอด}^2 \quad (14)$$

2.6 สัดส่วนความชื้น

1) สัดส่วนของเมล็ดข้าวโพด ใช้เมล็ดเต็มเมล็ด 75 g แยกออกมาผสมกัน และแบ่งเป็นตัวอย่างละ 25 g นำมาอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้ง (memmert ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน 30°C-210°C ความละเอียด $\pm 1^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 °C และถูกนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนที่จะวัดมวลด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (SHIMADZU รุ่น BX300 ขนาด 300 g ความละเอียด 0.001 g) ทั้งก่อนอบและหลังอบ สัดส่วนความชื้น(ฐานเปียก)ตามวิธีมาตรฐาน คำนวณได้ในสมการที่ 15

$$\text{สัดส่วนความชื้น(ฐานเปียก)} = \frac{\text{ความแตกต่างระหว่างมวลก่อนอบและหลังอบ}}{\text{มวลก่อนอบ}} \quad (15)$$

2) สัดส่วนความชื้นของเปลือกข้าวโพด ตัดเปลือกข้าวโพดทั้งความหนาออกเป็น 30 x 30 mm 3 ตำแหน่ง คือตรงกลางฝักข้าวโพด 1 ตำแหน่ง ตรงกลางของฝักข้าวโพดและฝักข้างของฝักข้าวโพด อย่างละ 1 ตำแหน่ง ให้ชิ้นเปลือกทั้งสามตำแหน่งเป็น 1 ตัวอย่าง ตัดเปลือกแบบเดิมอีกฝักหนึ่งของข้าวโพด เป็นอีก 1 ตัวอย่าง หาความชื้นด้วยวิธีเดียวกับเมล็ด

3) สัดส่วนความชื้นของแกนข้าวโพด หั่นแกนเป็นแว่นๆ หนา 3 mm ตัวอย่างละ 5 ชิ้น หาความชื้นด้วยวิธีเดียวกับเมล็ด

3. การคำนวณสมบัติเชิงความร้อนของข้าวโพดหวานจากสมการที่เป็นฟังก์ชันกับความชื้น

3.1 ความร้อนจำเพาะ(C_p , kJ/kg·K) ประมาณจากสมการของ (Siebel, 1982)

$$C_p = 0.837 + 3.349 M \quad (16)$$

M คือ สัดส่วนความชื้น (ฐานเปียก) คำนวณได้จากสมการที่ 15

3.2 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k, W/m·K) ประมาณจากสมการของ (Bowman, 1970)

$$k = 0.056 + 0.567M \quad (17)$$

3.3 สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (α , m²/s)

$$\alpha = k/(p \cdot C_p) \quad (18)$$

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แสดงสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงความร้อน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกายภาพ

สมบัติเชิงกายภาพ		จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
A = 0	ยาวสุดของฝัก (cm)	10	21.16	0.46
B = 0	ยาวสุดที่ตั้งฉากกับแกน A (cm)	10	6.07	0.27
C = 0	ยาวสุดที่ตั้งฉากกับแกน A และ B (cm)	10	6.08	0.26
ความหนา	เปลือก* (cm)	10	0.27	0.06
	เมล็ด** (cm)	10	1.08	0.08
	แกน*** (cm)	10	1.55	0.11
ความหนาแน่นเนื้อ	ทั้งฝัก (g/cm ³)	10	0.47	0.02
	เปลือก (g/cm ³)	10	0.52	0.08
	เมล็ด (g/cm ³)	10	0.98	0.05
	แกน (g/cm ³)	10	0.15	0.02
พื้นที่ผิวทั้งฝัก (cm ²)		10	512.53	26.15
สัดส่วนความชื้น	เปลือก	20	0.76	0.02
	เมล็ด	20	0.76	0.02
	แกน	20	0.70	0.02

หมายเหตุ 0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง * คือ ความหนาของเปลือกระหว่างเปลือกที่มิดด้านนอกและเปลือกที่ติดกับเมล็ด ** คือ ความหนา
ด้านระหว่างเมล็ดที่ติดกับแกนและเมล็ดที่ติดกับเปลือก *** คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหว่าสอง

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงความร้อนคำนวณจากสมการที่เป็นฟังก์ชันกับความชื้น

สมบัติเชิงความร้อน		จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
C_p	เปลือก (kJ/kg·K)	20	3.372	0.065
	เมล็ด (kJ/kg·K)	20	3.390	0.082
	แกน (kJ/kg·K)	20	3.175	0.080
k	เปลือก (W/m·K)	20	0.485	0.011
	เมล็ด (W/m·K)	20	0.488	0.014
	แกน (W/m·K)	20	0.452	0.014
α	เปลือก (m ² /s)	20	0.147	0.000
	เมล็ด (m ² /s)	20	0.147	0.001
	แกน (m ² /s)	20	0.145	0.001

หมายเหตุ C_p คือ ความร้อนจำเพาะ ประมาณจากสมการของ Siebel ในปี 1982 k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ประมาณจากสมการของ Bowman ในปี 1970 α คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน คำนวณได้จากสูตร $\alpha = k / (\rho C_p)$

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สมบัติเชิงกายภาพของข้าวโพดหวานเหล่านี้เป็นตัวแปรเริ่มต้นของแบบจำลองการทำนายอุณหภูมิภายในของข้าวโพดหวานระหว่างการทำ hydrocooling เพื่อให้สามารถออกแบบกระบวนการลดอุณหภูมิ ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และสามารถนำตัวแปรเหล่านี้ไปใช้ในแบบจำลองทางความร้อนและความเย็นอื่นได้ จากผลการทดลองสมบัติเชิงกายภาพ พื้นที่ผิวมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดต่างจากคุณสมบัติอื่นๆ เป็นเพราะฝักข้าวโพดมีขนาดที่แตกต่างกันเมื่อคำนวณค่าพื้นที่ผิวของแต่ละฝักจึงแตกต่างกันเล็กน้อย นอกจากนี้สมบัติเชิงความร้อนที่คำนวณจากสมการที่เป็นฟังก์ชันของความชื้น ค่าที่ได้สำหรับ เปลือก เมล็ด และแกน ข้าวโพดใกล้เคียงกันมาก เป็นเพราะความชื้นของวัสดุทั้งสามมีค่าต่างกันน้อย ส่วนสมบัติเชิงความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวโพดหวาน ความร้อนจำเพาะเมื่อเปรียบเทียบกับ อัครเดชในปี 2547 ซึ่งเป็นค่าของข้าวโพดฝักสด ซึ่งต่างกันเพียง 0.21 kJ/kg·K ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน ยังไม่มีการวัดสำหรับข้าวโพด แต่สำหรับฝักและผลไม้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนประมาณ 0.4 ± 0.2 W/m·K (Rao and Rizvi, 1985)

เอกสารอ้างอิง

- ปานมนัส ศิริสมบุญ, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ สาทิป รัตนภาสกร. 2538. **สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของข้าววัสดุ**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เทคโนโลยีชาวบ้าน. 2551. **ข้าวโพดหวานของไทย อนาคตยังไปได้ ตลาดนอกมี**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://siweb.dss.go.th/qa/search/search_description.asp?QA_ID=775

อัศวเดช สิ้นธุภักดิ์. 2547. **การทำความเย็น**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Bowman, R.C. 1970. **Thermal conductivity of cooked foods**. M.Sc. Thesis, Leeds University, UK.

Dilip Jain and Pankaj Pathare. 2007. **Modelling of the Internal cooling of fish during Ice storage**.

[Online] . Available : <http://www.bepress.com/ijfe/vol3/iss4/art4/>

Rahman, S. 1995. **Food Properties Handbooks**. CRC Press, Florida, p.192.

Rao, M.A. and Rizvi, S.S.H. 1985. **Engineering properties of foods**. New York : Marcel Dekker

Sastry, S.S. 1985. **Introductory Methods of Numerical Analysis**. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi.

Siebel, J. E. 1982. Specific heat of various products. **Ice Refrigeration**, 2: 256-257.