ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของสับปะรด

นางสาวสิรินาถ เมฆมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-137-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016683
1103124 7X

RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF PINEAPPLES

MISS SIRINARD MEKMANEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Food Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-137-6

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของสับปะรด
โดย นางสาวสิรินาถ เมฆมณี
ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคลัตถุศาสน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิรินาถ เมฆมณี : ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของสับปะรด (RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF PINEAPPLES) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. สายวรุณ ชัยวานิชศิริ, ผศ.ดร. กัลยา เลาหสงคราม, รศ.ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล, 90 หน้า. ISBN 974-577-137-6

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด การทราบค่าสมบัติทางความร้อนของสับปะรด จึงมีประโยชน์ในการคำนวณหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการแปรรูปที่เกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น (ร้อยละ 60 - 85) และอุณหภูมิ ในช่วงอุณหภูมิสูง (60 - 100 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-30 ถึง -10 องศาเซลเซียส) ต่อค่าสมบัติทางความร้อนของสับปะรด ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ สภาพนำความร้อน และสภาพแพร่ความร้อน

การหาค่าความร้อนจำเพาะใช้วิธี modified method of mixture พบว่าที่อุณหภูมิสูง ค่าความร้อนจำเพาะของสับปะรดอยู่ในช่วง 0.844 - 0.909 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส โดยมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงกับความชื้น และเพิ่มขึ้นแบบพาราโบลากับอุณหภูมิของสับปะรด ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ความร้อนจำเพาะมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง (0.469 - 0.488 แคลอรี/กรัม องศาเซลเซียส) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงกับความชื้น (แต่มีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนกับอุณหภูมิ) สำหรับการหาค่าสภาพนำความร้อน โดยใช้ thermal conductivity probe พบว่า ที่อุณหภูมิสูงค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดอยู่ในช่วง 0.487 - 0.941 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นแบบพาราโบลากับความชื้นและอุณหภูมิของสับปะรด ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง สภาพนำความร้อนมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิสูง (0.861 - 1.192 วัตต์/เมตร องศาเคลวิน) โดยมีค่าลดลงแบบพาราโบลาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่ความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 75 ไม่มีผลต่อค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรด ส่วนสภาพแพร่ความร้อน ซึ่งหาโดยวิธีใช้ thermal diffusivity tube พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.323×10^{-7} ถึง 2.741×10^{-7} เมตร^2/วินาที ที่อุณหภูมิสูง และ 4.309×10^{-7} ถึง 5.967×10^{-7} เมตร^2/วินาที ที่อุณหภูมิต่ำ โดยความชื้นและอุณหภูมิมีผลต่อค่าสภาพแพร่ความร้อนลักษณะเดียวกับค่าสภาพนำความร้อน ทั้งที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต สิรินาถ เมฆมณี

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สายวรุณ ชัยวานิชศิริ

SIRINARD MEKMANEE : RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF PINEAPPLES. THESIS ADVISOR : Dr. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D., ASSIST. PROF. KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., ASSO. PROF. CHAIYUTE THUNPITHAYAKUL, Ph.D., 90 PP. ISBN 974-577-137-6

Pineapples are one of the most economically important fruits in Thailand, largely because of the many products which can be made from them. It is useful to know the thermal properties of pineapples in order to calculate the appropriate times and temperatures for different heat transfer processes. The objective of this research is to study the effects of moisture content (60 - 85 %) and temperature (60 - 100 °C and -30 - (-10 °C)) on specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity of pineapples.

In the temperature range of 60 - 100 °C it was found that the specific heat (C_p) of pineapples as measured by the modified method of mixture ranged from 0.844 - 0.909 cal/g°C. The relationship between C_p and moisture and temperature was found to be a linear function of moisture content and a quadratic function of temperature. At low temperatures (-30 to -10 °C) C_p ranged from 0.469 - 0.488 cal/g°C and was a linear function of moisture content only. The thermal conductivity (k) of pineapples as measured by the probe gave values ranging from 0.487 - 0.941 W/m.K at the high temperature level. The relationship showed that k was a second - order polynomial function of both moisture and temperature. At the low temperature level, k was found to be 0.861 - 1.192 W/m.K and decreased with a second - order polynomial function of temperature only. Thermal diffusivity (α) of pineapples using the thermal diffusivity tube ranged from 1.323×10^{-7} - 2.741×10^{-7} m^2/s at the high temperature level and 4.309×10^{-7} - 5.967×10^{-7} m^2/s at the low temperature level. It was also found that the effects of moisture content and temperature on thermal diffusivity were the same as those on thermal conductivity at both high and low temperature levels.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ศิรินาถ เมฆมณี

สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหาร

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ศาวรุจ ธีรวนิช

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือคำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม และรองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำช่วยเหลือด้านวิชาการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณพีระยุทธ เรืองศิลปวิไล และ คุณนิวัติ ถิรวัฒน์ ที่ได้ช่วยสร้างเครื่องมือในงานวิจัยนี้ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนอุดหนุนการวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโททุกท่าน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
คำอธิบายสัญญลักษณ์ ..... ฐ
บทที่
1 บทนำ 1
2 วารสารปริทัศน์ 2
2.1 การวัดค่าสมบัติทางความร้อน 2
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อน 14
2.3 สับปะรด 17
3 วิธีการทดลอง 20
3.1 ทฤษฎีและสมมุติฐานในการออกแบบเครื่องมือ 20
3.2 ออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับหาค่าสมบัติทางความร้อนของสับปะรด ... 23
3.3 การเตรียมตัวอย่าง 24
3.4 การทดลองหาวิธีการวัดและคำนวณค่าสมบัติทางความร้อน 25
3.5 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 28
3.6 รวบรวมผลการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ 29
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 30
4.1 ออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับหาค่าสมบัติทางความร้อนของสับปะรด ... 30
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด 32
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมบัติทางความร้อนกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 35

หน้า

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 67
5.1 สรุปผลการทดลอง 67
5.2 ข้อเสนอแนะ 69
เอกสารอ้างอิง 70
ภาคผนวก ก 75
ภาคผนวก ข 81
ภาคผนวก ค 84
ประวัติผู้เขียน 90

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าสภาพนำความร้อนของผักและผลไม้ต่างๆ 10

2.2 ตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับสมบัติทางความร้อนของอาหารบางชนิด 15

2.3 ตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสมบัติทางความร้อนของอาหารบางชนิด 16

2.4 องค์ประกอบทั่วไปของสับปะรด 18

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสับปะรด 35

4.2 ค่าเฉลี่ยความร้อนจำเพาะของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิสูง ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ 36

4.3 สมการ regression ของค่าความร้อนจำเพาะของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิสูงกับความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 85 38

4.4 สมการ regression ของค่าความร้อนจำเพาะของสับปะรดกับอุณหภูมิในช่วง 60 - 100 องศาเซลเซียส 40

4.5 ค่าเฉลี่ยความร้อนจำเพาะของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ 41

4.6 สมการ regression ของค่าความร้อนจำเพาะของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง กับความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 85 42

4.7 ค่าเฉลี่ยสภาพนำความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิสูง ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ 44

4.8 สมการ regression ของค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิสูงกับความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 85 45

4.9 สมการ regression ของค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิในช่วง 60 - 100 องศาเซลเซียส 47

4.10 ค่าเฉลี่ยสภาพนำความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ 50

ตารางที่ (ต่อ) หน้า

4.11 สมการ regression ของค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง กับความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 85 52
4.12 สมการ regression ของค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิในช่วง -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 54
4.13 ค่าเฉลี่ยสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิสูง ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ 55
4.14 สมการ regression ของค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิสูงกับความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 85 56
4.15 สมการ regression ของค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิในช่วง 60 - 100 องศาเซลเซียส 58
4.16 ค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดที่ได้จากการคำนวณในช่วงอุณหภูมิสูง 60
4.17 ค่าเฉลี่ยสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ 61
4.18 สมการ regression ของค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง กับความชื้นในช่วงร้อยละ 60 - 85 63
4.19 สมการ regression ของค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิในช่วง -30 ถึง -10 องศาเซลเซียส 65
4.20 ค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดที่ได้จากการคำนวณ ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง 66

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แคลอริมิเตอร์ที่ใช้หาค่าความร้อนจำเพาะ 3

2.2 เครื่อง guarded hot plate สำหรับหาค่าสภาพนำความร้อน 6

2.3 เครื่อง concentric cylinder สำหรับหาค่าสภาพนำความร้อน 7

2.4 เครื่องมือหาค่าสภาพนำความร้อนโดย Fitch 8

2.5 Thermal conductivity probe สำหรับหาค่าสภาพนำความร้อน 9

2.6 Thermal conductivity probe สำหรับหาค่าสภาพแพร่ความร้อน 12

2.7 Thermal diffusivity tube สำหรับหาค่าสภาพแพร่ความร้อน 13

2.8 กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการแพร่ความร้อน 13

3.1 การสูญเสียหรือการได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมของน้ำในแคลอริมิเตอร์ 21

4.1 ภาพตัดขวางของแคลอริมิเตอร์ 31

4.2 ภาพตัดขวางของ thermal conductivity probe 33

4.3 ภาพตัดขวางของ thermal diffusivity tube 34

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะของสับปะรดกับความชื้น ที่อุณหภูมิต่างๆ .. 37

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะของสับปะรดกับอุณหภูมิ ที่ความชื้นต่างๆ .. 39

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะของสับปะรดกับความชื้น ที่อุณหภูมิ ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง 43

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดกับความชื้น ที่อุณหภูมิต่างๆ .. 46

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิ ที่ความชื้นต่างๆ .. 48

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดกับความชื้น ที่อุณหภูมิ ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง 51

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิ ในช่วงต่ำกว่า จุดเยือกแข็ง 53

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดกับความชื้น ที่อุณหภูมิ ต่างๆ 57

รูปที่ (ต่อ) หน้า

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิ ที่ความชื้นต่างๆ 59
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดกับความชื้น ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง 62
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพแพร่ความร้อนของสับปะรดกับอุณหภูมิ ในช่วงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง 64

คำอธิบายสัญญลักษณ์

A = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของสารให้ความร้อน

a = พื้นที่หน้าตัดของการถ่ายโอนความร้อน

C_E = Euler's constant, 0.5772

C_{PS} = ความร้อนจำเพาะของตัวอย่าง

C_{PW} = ความร้อนจำเพาะของน้ำ

H_C = ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

k = สภาพนำความร้อน

L = การสูญเสียหรือการได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อม

q = ปริมาณความร้อน

q' = ปริมาณความร้อนต่อหน่วยความยาว

R = รัศมีภายในของ thermal diffusivity tube

r = ระยะทางตามแนวรัศมีจากแหล่งให้ความร้อน

r^2 = coefficient of determination

S = ความชันของกราฟเส้นตรง (dT/d(lnt))

T = อุณหภูมิ

ΔT_C = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของแคลอริมิเตอร์และอุณหภูมิที่จุดสมดุล

ΔT_S = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างและอุณหภูมิที่จุดสมดุล

ΔT_W = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำและอุณหภูมิที่จุดสมดุล

T_R-T_o = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของ thermal diffusivity tube และอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของตัวอย่างในท่อ

t = เวลา

t_F = เวลาที่จุดสมดุล

W_S = น้ำหนักของตัวอย่าง

W_W = น้ำหนักของน้ำ

α = สภาพแพร่ความร้อน

β = $r / 2\sqrt{\alpha t}$

ρ = ความหนาแน่น