การศึกษาการอบแห้งใบมะกรูดโดยใช้ปั๊มความร้อน

Study of Kaffir Lime Leaves Drying by Using the Heat Pump

นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร[1], ธนกร ถาวรกิจ[2], สิทธิชัย วงศ์หน่อ[3], วิวัฒน์ คล่องพานิช[4]

[1,2,3,4]สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่

narubet@northcm.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งใบมะกรูดโดยปั๊มความร้อน โดยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นแบบอัดไอใช้สารความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน ตู้อบแห้งมีปริมาตรบรรจุ 0.12 m3 มีถาดสำหรับบรรจุวัตถุดิบจำนวน 7 ชั้น โดยสามารถบรรจุใบมะกรูดสดได้ครั้งละ 7 kg ความเร็วรอบของเครื่องอัดไอโดยเฉลี่ย 894 rpm. โดยมีความชื้นเริ่มต้นของใบมะกรูดเฉลี่ย 62.28 %(wet basis) และอบแห้งจนความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 10 %(wet basis) จากการทดสอบอบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิ 40 45 50 และ 55 oC พบว่าที่อุณหภูมิ 55 oC และใช้เวลา 6 ชั่วโมง เหมาะสมแก่การอบแห้งใบมะกรูดมากที่สุด เพราะใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด และผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งมีสี และกลิ่นตามที่ต้องการ โดยควบคุมความเร็วลมร้อนเฉลี่ย 1.28 m/s ตลอดการทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (COP) เท่ากับ 3.89 สามารถคืนทุนได้ภายใน 21 ครั้งของการอบ

คำหลัก: การอบแห้ง, ปั๊มความร้อน, ใบมะกรูด

Abstract

This research aimed to study the drying of kaffir lime leaves using a heat pump. The heat pump dryer was a vapor compression type using R-134a refrigerant as the working fluid. The drying chamber had a volume of 0.12 m3 and 7 trays, capacity 7 kg. of fresh kaffir lime leaves at a time. The average speed of the vapor compressor was 894 rpm. The initial average moisture content of the kaffir lime leaves was 62.28% (wet basis), and the final drying resulted in a moisture content of no more than 10% (wet basis). Drying tests of kaffir lime leaves at temperatures of 40, 45, 50, and 550 C, showed that 550 C for 6 hours was the most suitable temperature and drying time, as it resulted in the shortest drying time and the desired color and aroma of the dried product. The

average hot air velocity was controlled at 1.28 m/s. The coefficient of performance of the heat pump system (COP) was 3.89, payback period of 21 drying cycles.

Keywords: Drying, Heat pump, Kaffir Lime Leaves

บทนำ

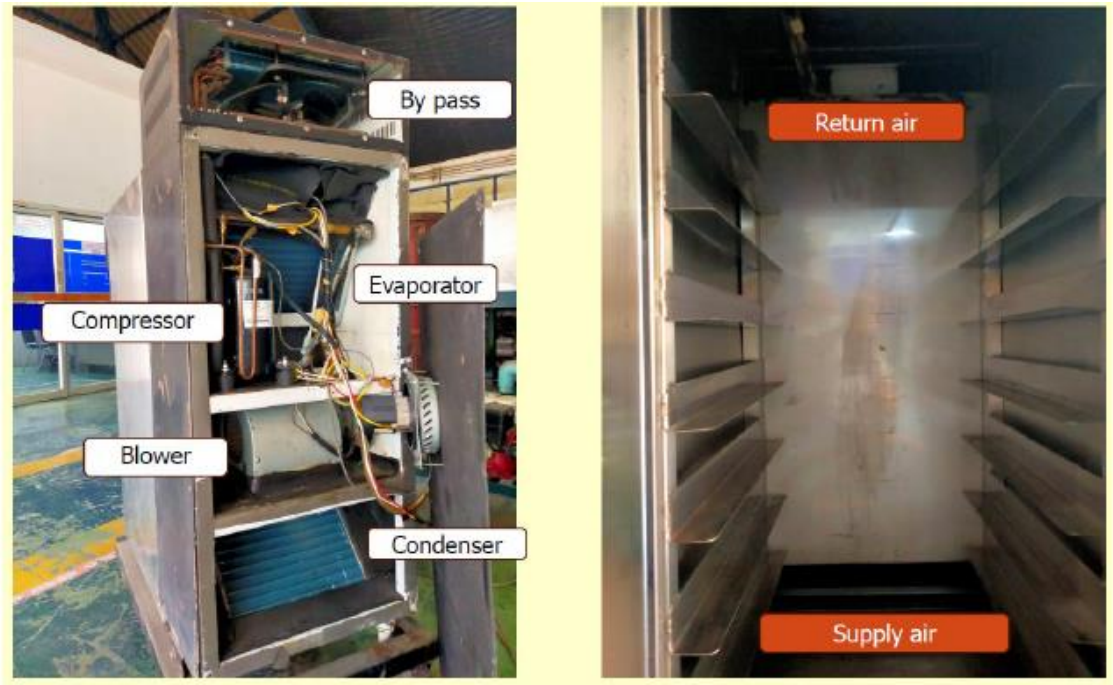
การอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เป็นการอบแห้งในระบบปิดและมีอุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่ำ ทำให้คงความมีสี กลิ่น และสรรพคุณของผลิตภัณฑ์ที่ดีว่าการอบแห้งโดยวิธีอื่นๆ โดยเฉพาะการอบแห้งผลิตภัณฑ์จำพวกอาหาร ยา และพืชสมุนไพรต่างๆ การอบแห้งใบมะกรูดก็เช่นเดียวกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการใบมะกรูดอบแห้งเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์สมุนไพร เช่น ลูกประคบ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยต้องการให้มีสีและกลิ่นใกล้เคียงกับใบมะกรูดสดมากที่ที่สุด ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งยังต้องการกลิ่นและสรรพคุณทางยาให้มีความคงอยู่มากเช่นเดียวกัน การอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจึงมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน Phoungchandang, S. et al. (2009) พบว่า การออกแบบเครื่องมือและการทดลองมีความสำคัญมากกับการนำมาใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zafer, E. and Filiz, I. (2009) โดยต้องมีการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดกับการอบแห้งเพื่อส่งผลไปยังคุณภาพของผลิตภัณฑ์และจุดคุ้มทุนในการอบแห้ง จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น (ภาพที่ 1) ใช้สารความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 Hp เป็นต้นกำลัง ที่ความเร็วรอบโดยเฉลี่ย 894 rpm. มีการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ตู้อบแห้งมีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 42x37x76 cm ปริมาตรบรรจุ 0.12 m3 ถาดบรรจุที่ใช้ในการอบแห้งขนาด 42 x 37 cm จำนวน 7 ชั้น โดยมีพัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 in. จำนวน 2 ตัว เป็นตัวเป่าลมร้อนจากการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น (Condenser) ไปยังวัตถุดิบเพื่อไล่ความชื้นจากวัสดุทดสอบ หลังจากนั้นความชื้นก็จะไปกลั่นตัวที่เครื่องทำระเหย(Evaporator) และความชื้นบางส่วนถูกระบายออกไปภายนอกเครื่องอบแห้งสู่สิ่งแวดล้อม(By pass) ซึ่งใช้พัดลมดูดขนาด 10 in. จำนวน 2 ตัวเช่นเดียวกับตัวเป่าลมร้อน เป็นการลดภาระการทำงานของเครื่องทำระเหยและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลงได้เร็วขึ้น (ภาพที่ 2) ซึ่งศึกษาตามวิธีการทดสอบของ ประพันธ์พงษ์ และคณะ (2566) สอดคล้องกับวิธีการทดสอบการอบพริกของ U.S. Pal, et al (2008) และการอบแห้งกากคาวตองหมัก ของ นฤเบศร์ (2559) ที่มีการศึกษาในส่วนของอากาศที่ไหลผ่าน

และไหลข้ามเครื่องทำระเหย เพื่อหาการลดความชื้นที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยการทดสอบการอบแห้งในครั้งนี้ใช้ใบมะกรูดตลอดการทดสอบ บรรจุลงถาดๆ ละ 1 kg (ภาพที่ 3)

ภาพที่ 1 ชุดทดสอบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

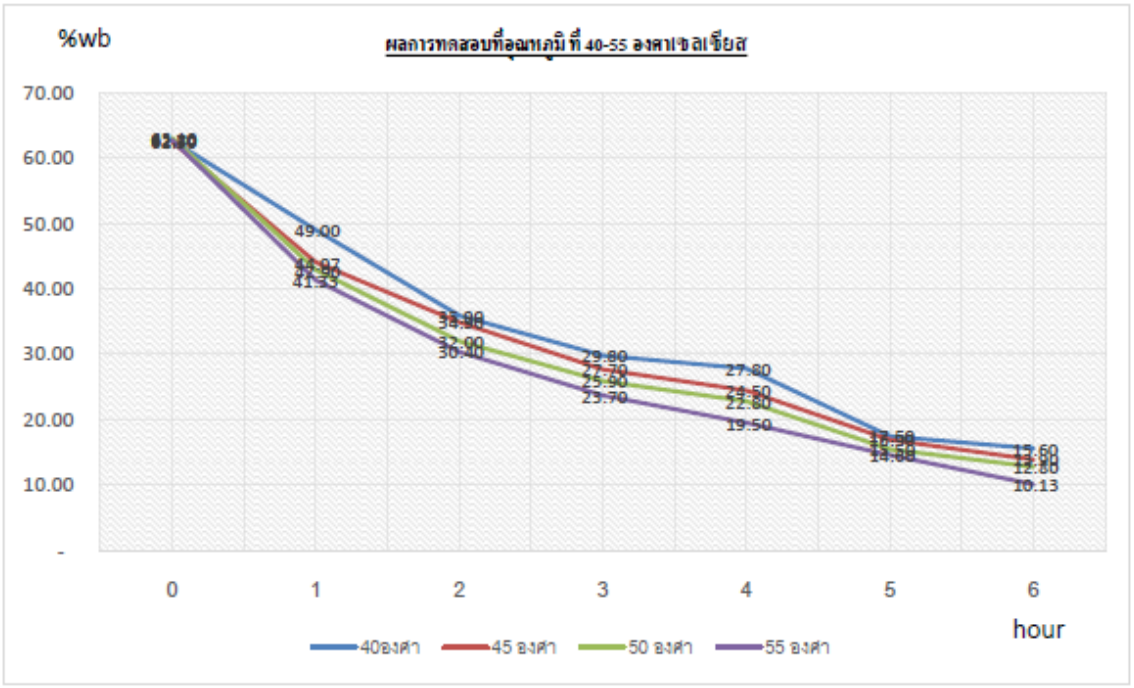


ภาพที่ 2 ส่วนประกอบชุดทำงานของปั๊มความร้อน

ภาพที่ 3 วัตถุดิบใบมะกรูดสด

จากการทดสอบที่ปัจจัยต่างๆ ได้แบ่งช่วงอุณหภูมิในการทดสอบออกเป็น 4 ระดับ คือ อุณหภูมิ 40 45 50 และ 55 oC โดยใช้ความเร็วลมเฉลี่ย 1.28 m/s ตลอดการทดสอบ เนื่องจากเป็นความเร็วลมที่มีความเหมาะสมจากการทดสอบเบื้องต้น เป็นความเร็วลมที่ไม่มากจนเกินไป อัตราการลดลงของความชื้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และไม่มีการฟุ้งกระจายของวัตถุดิบ และใช้อัตราการไหลผ่านของลมผ่านเครื่องทำระเหยที่ 60% ของปริมาณลมทั้งหมด ตลอดการทดสอบ เนื่องจากในช่วงนี้เป็นช่วงที่อัตราการทำระเหยค่อนข้างดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นฤเบศร์ และคณะ(2563) และลดภาระการทำงานของเครื่องอัดได้อีกด้วย โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ในการทดสอบแต่ละซ้ำได้ใช้วัตถุดิบครั้งละ 1 kg และรักษาความชื้นเริ่มแรกให้อยู่ในค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดยการนำไปผึ่งลมก่อนทำการทดสอบ เพื่อความแม่นยำในการทดสอบ และเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วจึงทำการทดสอบจริง โดยการบรรจุวัตถุดิบคือใบมะกรูดสดเต็มตู้ทุกชั้นตามที่ออกแบบไว้ คือ จำนวน 7 kg จำนวน 3 ซ้ำ

ผลและอภิปรายผล



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของเวลาที่อบกับความชื้นที่ลดลง

จากผลการทดสอบพบว่า(ภาพที่ 4) ในช่วงเริ่มต้นของการทำงานของเครื่องฯ จนถึง 2 ชั่วโมงแรก ความชื้นจะ ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงของการระเหยน้ำ หลังจากนั้นจนถึงชั่วโมงที่ 4 ความชื้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผิวของใบมะกรูดค่อนข้างแห้งและรูของใบเริ่มปิดตัว จนกระทั่งถึงช่วงความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ คือประมาณ 10% (wet basis) ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการจัดเก็บของผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ยังคงมีสีและกลิ่นที่ต้องการ (ภาพที่ 5) จากแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบพบว่าการลดลงของความชื้นในผลิตภัณฑ์ใบมะกรูดอบแห้งมีความใกล้เคียงกันในช่วงอุณหภูมิ 50–55 oC จึงได้เลือกที่อุณหภูมิ 55 oC เป็นจุดที่เหมาะสม เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงเร็วกว่า ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าช่วง 40-45 oC ส่วนการทดสอบที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาน้อยที่สุดในการอบแห้ง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีค่อนข้างคล้ำ อีกทั้งน้ำมันระเหยที่มีอยู่ในใบมะกรูดระเหยตัวไปค่อนข้างมาก ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของตลาด จึงไม่ได้นำมาพิจารณาและแสดงผล

ภาพที่ 5 ผลิตภัณฑ์ใบมะกรูดอบแห้ง

การทดสอบเพื่อหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปั๊มความร้อน, COPHP

ได้ทำการตรวจวัดค่าความดันของสารความเย็นที่ตำแหน่งต่างๆ คือ

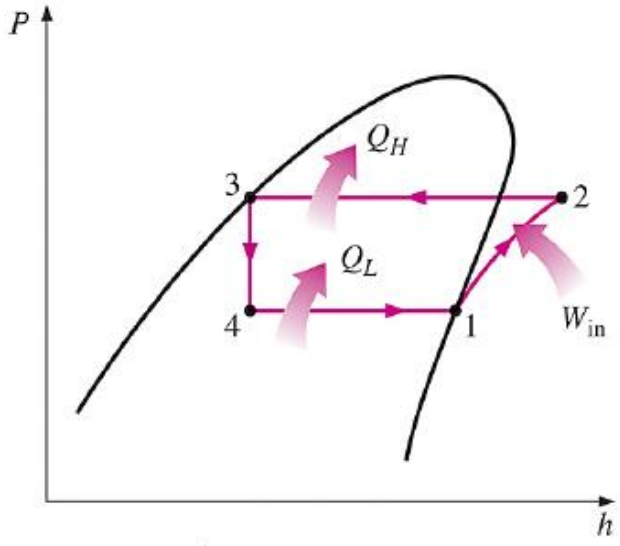
ตำแหน่งที่ 1 ทางเข้าของเครื่องอัด(ท่อดูด)

ตำแหน่งที่ 2 ทางออกของเครื่องอัด(ท่อส่ง)

ซึ่งจากการตรวดวัดความดันของสารความเย็น ได้ค่าต่างๆ ดังนี้ P1 = P4 = 250 kPa

P2 = P3 = 2,450 kPa

แล้วเปิดคุณสมบัติต่างๆ จากแผนภูมิความดันและเอนทาลปี (ภาพที่ 6) ของสารทำความเย็น R-134a โดยใช้วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไออุดมคติ



ภาพที่ 6 Ph-diagram chart

ได้ค่าต่าง ๆ ของเอนทาลปีที่จุดต่าง ๆดังนี้

h1 = 405.80 kJ/kg

h2 = 442.35 kJ/kg

h3 = 304.70 kJ/kg

h4 = 304.70 kJ/kg

ความสามารถในการทำความร้อนต่อมวลของสารทำความเย็น

qc = h2-h3

qc = 442.35-304.70 kJ/kg

qc = 137.65 kJ/kg

พลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอทางอุดมคติ

qw = h2-h1

qw = 442.35-405.80 kJ/kg

qw = 35.35 kJ/kg

โดยที่ qw= พลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ

qc= ความสามารถในการทำความร้อนต่อมวลของสารทำความเย็น

COPHP = qc /qw

COPHP = (137.65 kJ/kg)/(35.35 kJ/kg)

COPHP = 3.89

จุดคุ้มทุน

ต้นทุนราคาเครื่องอบ 35,000 บาท

ใบมะกรูดสดกิโลกรัมละ 65 บาท x 7 กก. = 455 บาท

ค่าไฟฟ้าในการอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท เวลาที่ใช้ 6 ชั่วโมง

กำลังมอเตอร์ 700 วัตต์ (จากการตรวจวัด), พัดลม 350 วัตต์ 2 ตัว เท่ากับ 700 วัตต์ และพัดลม 200 วัตต์ จำนวน 2 ตัว เท่ากับ 400 วัตต์ รวมเป็น 1800 วัตต์ หรือ 1.8 กิโลวัตต์

รวมกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 1.8 กิโลวัตต์ X 6 ชั่วโมง เท่ากับ 10.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ค่าไฟฟ้าในการอบแต่ละครั้ง 10.8 x 4 บาท เท่ากับ 43.20 บาท

ราคาขาย 2,000 บาทต่อกิโลกรัม แต่ละครั้งได้ใบมะกรูดแห้ง 1.12 กิโลกรัม

เป็นเงินเท่ากับ 2,240 บาท

ดังนั้นการอบแต่ละครั้งจึงคิดเป็นผลกำไร = 2240-43.2-455 = 1,741.8 บาท

เมื่อคิดเป็นจำนวนครั้งในการอบ = 35,000 / 1,741.80 = 20.09 ครั้ง หรือประมาณ 21 ครั้ง จึงคืนทุน

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งใบมะกรูดด้วยวิธีอบแห้งแบบปั๊มความร้อน พบว่า ที่อุณหภูมิ 55 oC ความเร็วลมเฉลี่ย 1.28 m/s ที่มีความชื้นเริ่มแรกของวัตถุดิบอยู่ในช่วงระหว่าง 62.28 %(wet basis) ให้ผลในการอบแห้งเหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากให้สีและกลิ่นเป็นที่ต้องการของตลาด และเมื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนถัดไปสามารถทำได้สะดวกกว่าที่ช่วงอุณหภูมิอื่นๆ ใช้เวลาในการอบแห้งโดยเฉลี่ย 6 ชั่วโมง โดยความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ย 10 %(wet basis) และมีค่าสัมประสิทธ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน (COP) เท่ากับ 3.89 ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการอบแต่ละครั้งเฉลี่ยที่ 43.20 บาท และเมื่อคิดต้นทุนการผลิตรวมทั้งหมดสามารถคืนทุนได้ภายในการอบ 21 ครั้ง อย่างไรก็ตามในการคิดจุดคืนทุนนี้ไม่ได้รวมค่าแรงงานเข้าไปด้วย และหากนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ควรเพิ่มขนาดของตู้อบเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ และพนักงานบริษัท นอร์ทเธิร์นอินดัสเตรียล จำกัด จ.ลำพูน ที่ปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์พร้อมในการใช้งานและทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, ทรงสุภา พุ่มชุมพล, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, & อภินันต์ นามเขต. (2566). การประเมินผลสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้สารความเย็น R32. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม,* 5(2).

นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร, สิทธิชัย วงศ์หน่อ, กุญชร สารวงษ์, & เอกพงศ์ สาปุก. (2563). *การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับผลิตภัณฑ์กระชายดำอบแห้ง.* ใน รายงานสืบเนื่องจากการประชุมเบญจมิตรวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10 (22 พฤษภาคม 2563). มหาวิทยาลัยนอร์ท–เชียงใหม่.

นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร. (2559). การศึกษาการอบแห้งกากคาวตองหมักโดยใช้เครื่องอบแบบปั๊มความร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,* 47(3 พิเศษ), 425–428.

Zafer, E., & Filiz, I. (2009). Optimization of drying of olive leaves in a pilot-scale heat pump dryer. *Drying Technology,* 27, 416–427.

Phoungchandang, S., Nongsang, S., & Sanchai, P. (2009). The development of ginger drying using tray drying, heat pump–dehumidified drying, and mixed-mode solar drying. *Drying Technology, 27,* 1123–1131.

Pal, U. S., Khan, M. K., & Mohanty, S. N. (2008). Heat pump drying of green sweet pepper. *Drying Technology,* 26, 1584-1590.