

Article

เทคโนโลยีการอบแห้งสะตอ สู่ผลิตภัณฑ์คืนความสดด้วยการแช่น้ำ

Drying Technology of Rehydrated Bitter Beans for Commercial Production

หมุดตอเล็บ นิสอ, การเกตุ วัฒนสิทธิ์, อาหลี่ ต้าหมั่น, เยาวเรศ ศิริสทธิกุล*,
ชิตณรงค์ ศิริสทธิกุล และ ชมนาด ศรีเปารยะ

Mudtorlep Nisoa, Karaket Wattanasit, Arlee Tamman, Yaowarat Sirisathitkul*,
Chitnarong Sirisathitkul and Chommanad Sripaoraya

ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลาสมาและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

Plasmas and Electromagnetic Wave Science Center of Excellence, Walailak University,
Thasala District, Nakhon Si Thammarat Province 80160, Thailand

*Corresponding author E-mail: kinsywu@gmail.com

วันที่รับบทความ: 18 พฤษภาคม 2565, วันที่แก้ไขบทความ: 2 สิงหาคม 2565, วันที่ตอบรับบทความ: 24 สิงหาคม 2565

Received: 18th May 2022, Revised: 2nd August 2022, Accepted: 24th August 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงตัวอย่างการใช้เทคโนโลยีทำแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เปลี่ยนสะตอเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่คืนความสดได้ด้วยการแช่น้ำ ระบบทำแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้สมบัติเชิงกายภาพเมื่อคืนรูปใกล้เคียงกับสะตอสด ได้มากกว่าการใช้เครื่องอบด้วยลมร้อน ระบบทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ความดันต่ำ และเครื่องทำแห้งเยือกแข็ง เทคโนโลยีนี้จึงถูกนำมาขยายสเกลการผลิตเป็นเชิงพาณิชย์ ซึ่งสามารถอบแห้งสะตอสด 15 กิโลกรัม ลดความชื้นลงจาก 73% ให้เหลือ 5% ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บรักษาไว้ได้ถึงหนึ่งปี แต่ต้องใช้เวลายาวนานขึ้นในการคืนรูปร่าง สี และกลิ่นให้เหมือนสะตอสด ในขณะที่เคลเซียม โปรตีน และกากใย ล้วนยังมีปริมาณสูง การวิจัยและพัฒนานี้สร้างประโยชน์ให้กับวิสาหกิจชุมชนในภาคใต้ของประเทศไทย จากการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากเฉพาะบางช่วงเวลาของปี

คำสำคัญ: สะตอ, อาหารที่คืนรูปได้ในน้ำ, ระบบทำแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ, เครื่องอบด้วยลมร้อน, ระบบทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ความดันต่ำ, เครื่องทำแห้งเยือกแข็ง

Abstract

This article demonstrates how the drying technology transforms bitter beans into rehydrated food products. Low-temperature dried air system gave rise to the seed's physical properties closer to fresh bitter beans, than those using the tray dryer, the low-pressure microwave dryer, and the freeze dryer. This technology was therefore scaled up for commercial prototype, which was able to dry 15 kg of fresh bitter beans by reducing the moisture content from 73% to 5% within 24 hours. The product could be kept up to a year, but a

longer time was needed to restore the color, shape and smell of the fresh seeds. Important nutrients such as calcium, protein, and fiber in rehydrated seeds remain high. With value added to an agricultural product abundant only in its season, this research and development benefits the community enterprise in southern Thailand.

Keywords: Bitter bean, Rehydrated food, Low-temperature dried air system, Tray dryer, Low-pressure microwave dryer, Freeze dryer

บทนำ

สะตอ (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Parkia speciosa*) เป็นไม้ยืนต้นในวงศ์ถั่ว (Fabaceae) แสดงดังรูปที่ 1 พบตามธรรมชาติทั่วไปในป่าดิบชื้นของเขตร้อน มี 2 สายพันธุ์ ที่ปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศไทย คือ สะตอขาว และสะตอดาน [1,2] ออกดอกในช่วงเดือนเมษายน หลังจากนั้นประมาณ 70 วัน จะสามารถเก็บผักได้ ผลของสะตอเป็นฝักแบนกว้าง 3-5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 35-45 เซนติเมตร ฝักบิดเป็นเกลียวห่าง ฝักอ่อนมีสีเขียว พอแก่จะเปลี่ยนเป็นสีดำ เมล็ดสะตอมีลักษณะเป็นรูปรีเกือบกลมเรียงตามขวางกับฝัก มีสีเขียวอ่อนรับประทานได้ทั้งเมล็ด ปัจจุบันมีความนิยมบริโภคสะตอกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะจะงอบริโภคในภาคใต้เพียงอย่างเดียวเหมือนในอดีต ประเทศเพื่อนบ้านในภูมิภาคอาเซียนเองก็มีความต้องการบริโภคสะตอเป็นจำนวนมากเช่นกัน นอกจากนี้สารอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระในสะตอยังได้รับการสนใจอย่างกว้างขวางโดยกลุ่มวิจัยทั้งในและต่างประเทศ [3-11]



รูปที่ 1 (ก) ต้นสะตอ และ (ข) ฝักสะตอ

สะตอมีผลผลิตออกมาเป็นฤดูกาล ไม่ได้มีตลอดทั้งปีเหมือนเช่นพืชผักชนิดอื่น ๆ เมื่อถึงฤดูกาลก็จะมีสินค้าล้นตลาดทำให้ราคาตกต่ำ ตรงข้ามกับนอกฤดูกาลที่ราคาจำหน่ายปลีกฝักสดจะมีราคาสูงและคุณภาพไม่ดี ในปัจจุบันการแปรรูปสะตอมีเพียงการทำสะตอดอง ที่นำมาประกอบอาหารได้จำกัด เป็นผักแกล้มหรือแกงบาง

ประเภทเท่านั้น และการทำสะอาดที่ยังไม่แพร่หลาย ลักษณะของสโตนแปรรูปทั้งสองแบบแตกต่างจากสโตนสด โดยสิ้นเชิง ทั้งรูป รส กลิ่น และสี [12] สโตนจึงเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่น่าสนใจในการแปรรูปเป็นอาหารอบแห้งที่คืนรูปได้ในน้ำ (Rehydrated food) เพื่อจำหน่ายตลอดปีทั้งตลาดในและต่างประเทศ [13,14] วิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมีสเตอร์สโตน ได้ร่วมกับ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลาสติกและเคมีแม่เหล็กไฟฟ้า มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งสโตน เพื่อยืดเวลาการเก็บรักษาและสามารถคืนตัวกลับเป็นสโตนสดได้ด้วยเวลาที่สั้นที่สุด เมื่อต้องการนำมาปรุงอาหาร โดยยังคงรักษากลิ่น สี รสชาติ และมีรูปร่างใกล้เคียงกับสโตนสดมากที่สุด

เทคโนโลยีทำแห้งที่ประยุกต์ใช้กับสโตน

เทคโนโลยีการทำแห้ง (Dehydration) เป็นวิธีการถนอมอาหาร โดยลดความชื้น (Moisture content) ของอาหารด้วยการระเหยน้ำ สามารถทำได้หลายวิธี [15] ที่ใช้เครื่องมือตามหลักการที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. เครื่องอบลมร้อน (Tray dryer) [16] ใช้การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในชิ้นอาหาร โดยอาศัยลมร้อนจากแหล่งความร้อน ซึ่งอาจจะเป็น ฮีตเตอร์ คอยล์ไอน้ำ ก๊าซหุงต้ม หรือน้ำมันเตา ลมร้อนจะไหลผ่านอาหารที่วางเป็นชั้นบาง ๆ (ประมาณ 2-6 เซนติเมตร) ในชั้นของถาดที่อาจจะมียุพหรือไม่มีก็ได้ ความเร็วลมที่ไหลเวียนอยู่ในช่วง 0.5-5 เมตร/วินาที การทำแห้งด้วยลมร้อน หากใช้อุณหภูมิสูงเกิน 70 °C อาหารจะแห้งเร็วเกินไป เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง เพราะมีราคาและค่าบำรุงรักษาเครื่องค่อนข้างต่ำ แต่มีข้อเสียในเรื่องความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องอบ เนื่องจากอากาศไหลผ่านอาหารไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องสลับเปลี่ยนตำแหน่งการวางถาดเพื่อช่วยปรับปรุงการอบแห้งให้สม่ำเสมอมากขึ้น

2. เครื่องทำแห้งโดยแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) [16] ใช้การลดความดันภายใต้อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้ น้ำแข็งระเหิด (Sublimation) เป็นไอ วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการด้วยความร้อน อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง และมีสมบัติในการคืนสภาพได้ดี แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนทั่วไป

3. เครื่องทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave dryer) [17] ทำงานโดยอาศัยหลักการ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Dielectric heating) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ถูกส่งผ่านไปยังโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้ว เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจึงหมุน เสียดิสกัน เกิดความร้อน ทำให้อุณหภูมิของอาหารสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหย และความชื้นในอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความร้อนจากไมโครเวฟเกิดขึ้นภายในชิ้นของอาหาร มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ เป็นเทคโนโลยีที่ประหยัดเวลาและพลังงาน ซึ่งเหมาะกับการทำแห้งวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ สามารถใช้ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ หรือทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันต่ำ (Low-pressure microwave drying)

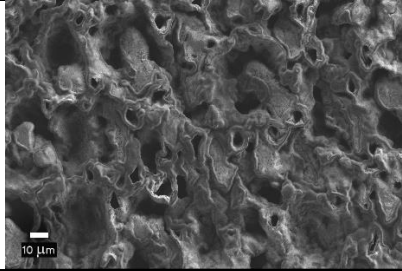
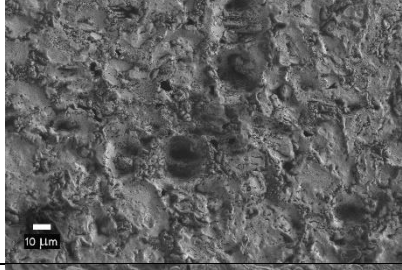
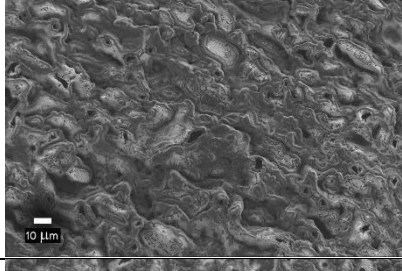
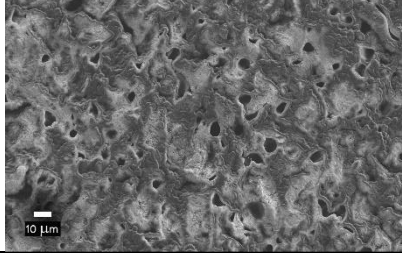
ผลจากการศึกษาเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 1 การทำแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำสามารถรักษาความเป็นรูปของสโตนไว้ได้และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องอื่น ๆ คุณลักษณะดังกล่าวส่งผลให้สโตนทำแห้งสามารถคืนรูปเป็นสโตนสดโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องได้เร็วที่สุด โดยใช้เวลาเพียง 50 นาที และยังคงรักษารูปร่าง สี กลิ่น และรสชาติที่ใกล้เคียงกับสโตนสดมากที่สุด ในขณะที่การทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ความดันต่ำ เครื่องทำแห้งด้วยลมร้อน และเครื่องทำแห้งโดยแช่เยือกแข็ง ใช้เวลา 65, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ และส่งผลให้สโตนที่คืนตัวมีสีและกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไป

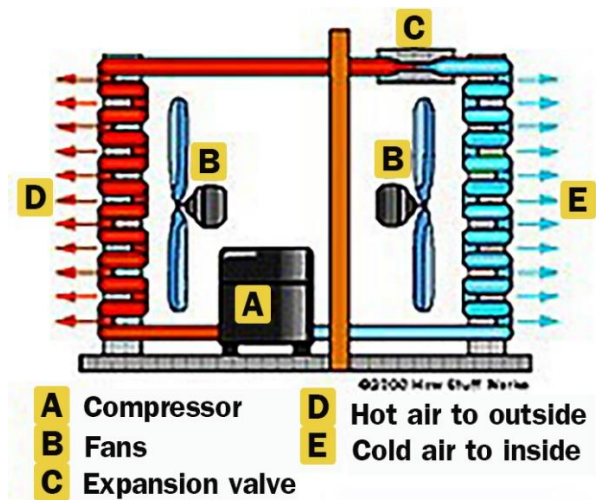
ระบบการทำแห้งสโตนด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

คุณลักษณะทางกายภาพของสโตนสด เช่น สี กลิ่น และรูปร่าง เปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนที่สูงเกินไป การผลิตสโตนคืนรูปที่มีคุณภาพสูง จึงเลือกใช้เทคโนโลยีทำแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งโดยปกติแล้วน้ำภายในสโตนจะมีการแลกเปลี่ยนกับไอน้ำในบรรยากาศ อัตราการแลกเปลี่ยนจะเข้าสู่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิ

และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ค่าหนึ่ง ซึ่งจะสอดคล้องกับความดันไอของน้ำจากวัสดุ (Vapor pressure of water from a material) ค่าดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการออกแบบระบบทำแห้งด้วยอากาศแห้ง เป็นการเพิ่มความดันไอของน้ำจากสสารโดยการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ที่ไม่ทำให้สสารเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและโภชนาการ พร้อมกับการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่หมุนเวียนในระบบ โดยอาศัยระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมขนาดเล็ก (Micro-controller unit) ร่วมกับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นที่มีความแม่นยำสูง เพื่อควบคุมปริมาณไอน้ำในอากาศให้มีค่าต่ำอยู่ตลอดเวลา หรือเรียกว่า ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) แสดงดังรูปที่ 2 ส่งผลให้การดูดกลืนไอน้ำของสสารมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการปลดปล่อยไอน้ำ กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ปริมาณน้ำในสสารมีค่าลดลงเข้าสู่ค่าที่ต้องการ นั่นคือความชื้นของสสารจะมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 1 ภาพจุลทรรศน์ของสสารอบแห้งจากเครื่อง Field emission scanning electron microscopy (FESEM; Zeiss Merlin compact) และการคืนตัวของสสารภายหลังการแช่น้ำ

เทคโนโลยีทำแห้ง	ภาพจุลทรรศน์ของสสารทำแห้ง	เวลาที่ใช้ในการคืนตัว (นาที)
ระบบทำแห้งด้วยลมร้อน 60 °C (Tray dryer at 60 °C)		 90 นาที
ระบบทำแห้งโดยแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer)		 120 นาที
ระบบทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ความดันต่ำ (Microwave vacuum dryer)		 65 นาที
ระบบทำแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature dried air system)		 50 นาที



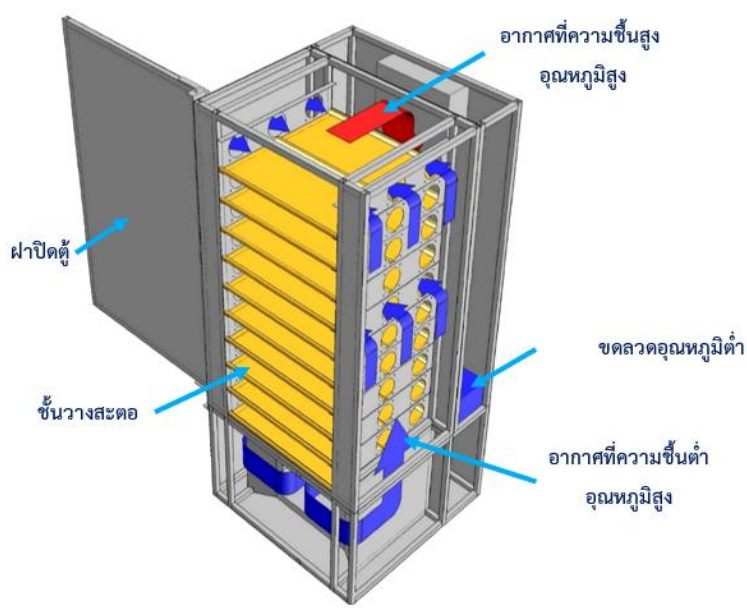
รูปที่ 2 การทำงานของระบบทำความเย็นเพื่อสร้างอากาศแห้งและการปลดปล่อยความร้อน

อากาศแห้งซึ่งหมุนเวียนในระบบถูกสร้างขึ้นโดยการให้อากาศไหลผ่านชุดลดอุณหภูมิต่ำ ทำให้น้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและถูกแยกออกจากระบบ ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าลดลงหรือเรียกว่าอากาศแห้ง อากาศที่ออกจากส่วนนี้จะมีอุณหภูมิต่ำและถูกส่งไปยังชุดลดความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิที่จุดทำงานของเครื่อง (Operating temperature) ซึ่งถูกตั้งค่าไว้ในระบบควบคุม และไหลผ่านชั้นวางที่ซึ่งสะอาดวางอยู่เพื่อรับไอน้ำที่ปล่อยออกมาและควบคุมอุณหภูมิของสะอาดให้คงที่

ระบบให้ความร้อน (ชุดลดความร้อน) และระบบดึงน้ำออกจากอากาศ (ชุดลดอุณหภูมิต่ำ) อาศัยการทำงานของคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งทำหน้าที่ปั๊มสารทำความเย็น (Refrigerant) เข้าสู่ชุดลดความร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศในระบบอบแห้ง และถูกส่งต่อไปยังลิ้นลดความดัน (Expansion valve) และผ่านไปยังชุดลดอุณหภูมิต่ำ สารทำความเย็นซึ่งอยู่ภายในชุดลดอุณหภูมิต่ำขยายตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้มีอุณหภูมิลดลง และไหลเวียนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ต่อไป กระบวนการดังกล่าวจะหมุนวนเป็นระบบ โดยการเปิดปิดคอมเพรสเซอร์จะควบคุมโดยระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่กล่าวไปข้างต้น แสดงดังรูปที่ 3 โดยภายในตู้อบจะมีชั้นวางสะอาด 10 ชั้นซึ่งแต่ละชั้นห่างกัน 10 เซนติเมตร ขณะที่เครื่องทำงาน อากาศแห้งและอุ่นจะถูกส่งเข้าห้องอบเพื่อดึงความชื้นจากสะอาดและไหลไปยังระบบทำความเย็นและควบแน่นความชื้น โดยอากาศที่แห้งจะไหลไปยังคอยล์ร้อนและทำให้อากาศอุ่นขึ้น และจะถูกดึงเข้าห้องอบรอบใหม่ ส่งผลให้เครื่องอบแห้งใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า ลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็น และมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นในระบบอบแห้งน้อย ส่งผลให้สะอาดที่ได้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งระบบ และลดเวลาในการอบแห้งต่อรอบ นั่นคือสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้นั่นเอง

การทดสอบการทำงานของเครื่อง ด้วยสะอาดจำนวน 15 กิโลกรัม ใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 4500 BTU และเพิ่มระบบระบายความร้อนให้กับคอยล์ร้อน เพื่ออบที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่าสามารถทำให้สะอาดแห้งได้ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยความชื้นของสะอาดมีค่าน้อยกว่า 5% ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 19.46 ยูนิท คิดเป็นค่าไฟฟ้า 68 บาท (คิดที่ค่าไฟฟ้ายูนิทละ 3 บาท 50 สตางค์) ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัมของสะอาดสดจะอยู่ที่ 4.5 บาทต่อกิโลกรัม

การทดสอบการทำงานของเครื่อง ด้วยสะอาดจำนวน 20 กิโลกรัม ใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 4500 BTU และเพิ่มระบบระบายความร้อนให้กับคอยล์ร้อน เพื่ออบที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่าสามารถทำให้สะอาดแห้งได้ในระยะเวลา 30 ชั่วโมง โดยความชื้นของสะอาดมีค่าน้อยกว่า 5% ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 25.32 ยูนิท คิดเป็นค่าไฟฟ้า 89 บาท (คิดที่ค่าไฟฟ้ายูนิทละ 3 บาท 50 สตางค์) ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัมของสะอาดสดจะอยู่ที่ 4.4 บาทต่อกิโลกรัม



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 (ก) แผนภาพระบบอบแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และ (ข) การอบสไลด์สด

การทดสอบผลิตภัณฑ์สไลด์สดทำแห้งแบบอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

1. คุณค่าทางโภชนาการ

การวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เพื่อเปรียบเทียบสไลด์สดก่อนและหลังทำแห้ง ดังนี้

- วิเคราะห์วัดความชื้น (Moisture) ด้วยวิธีตาม In house method based on Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed., 950.46, 2000
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Crude protein) ด้วยวิธีตาม In house method based on Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed., 950.46, 2000 (Combustion method; เครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน Leco รุ่น TruSpec CN, protein factor 6.25)
- วิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat) ด้วยวิธีตาม In house method based on Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed., 950.46, 2000 (Supercritical fluid extraction method; เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Leco รุ่น TFE 2000)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสารสำคัญของสไลด์สดและสไลด์ทำแห้ง จากการวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รายการทดสอบ	สไลด์สด	สไลด์ทำแห้ง
ไขมันทั้งหมด (Total fat)	5.49%	7.00%
โปรตีน (Crude protein)	8.35%	8.77%
ความชื้น (Moisture)	73.08%	5.20%

เมื่อศึกษาสารสำคัญทั้งก่อนและหลังทำแห้ง พบว่า ความชื้นสไลด์อบแห้งมีค่าเพียง 5.20% เท่านั้น ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมัน เท่ากับ 8.77 และ 7.00% เมื่อเปรียบเทียบกับสไลด์สดพบว่ามีปริมาณโปรตีนและ

ไขมันใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2 ผลการศึกษาสารองค์ประกอบหลักทางเคมีของสธอแสดงว่าสารอาหารยังคงอยู่ในสธอหลังผ่านการอบแห้งด้วยระบบทำแห้งแบบอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

จากการส่งตัวอย่างสธอทำแห้งด้วยระบบทำแห้งแบบอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ที่อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร ได้ผลดังตารางที่ 3 ว่า มีสารอาหารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ Vitamin A, B1, B2, Iron และ Sodium เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณไม่สูงนัก ส่วน Calcium, Protein, และ Fiber ล้วนมีปริมาณสูง จากผลการศึกษาคูณภาพของสธอหลังผ่านกระบวนการทำแห้ง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาพร้อมคงคุณค่าทางโภชนาการไว้อย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 3 สารสำคัญของสธอหลังทำแห้ง จากการวิเคราะห์ที่อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร

Test items	Test method	Units	Value
Total calories	In-house method T 943 based on Methods of Analysis for Nutrition Labeling, 1993, Chapter 1, 5	kcal/100g	465.0
Calories from fat	In-house method T 943 based on Methods of Analysis for Nutrition Labeling, 1993, Chapter 1, 5	kcal/100g	189.0
Total fat	In-house method T 966 based on AOAC (2012) 922.06	g/100g	21.0
Saturated fat	In-house method T 974 based on AOAC (2012) 996.06	g/100g	7.0
Cholesterol	In-house method T 992 based on J.AOAC (1993), 76(4) 902-906	mg/100g	Not detected
Sodium	In-house method T 9152 based on AOAC (2012) 984.27	mg/100g	8
Total carbohydrate	In-house method T 943 based on Methods of Analysis for Nutrition labeling, 1993, Chapter 1, 5	g/100g	42.8
Dietary fiber	In-house method T 995 based on AOAC (2012) 985.29	g/100g	21.4
Total sugars	In-house method T 997 based on AOAC (2012) 982.14	g/100g	6.5
Protein (Nx6.25)	In-house method T 927 based on AOAC (2012) 991.20	g/100g	26.3
Vitamin A	In-house method T 969 based on AOAC (2012) 992.06	µg/100g	47
Vitamin B1	In-house method T 970 based on AOAC (2012) 942.23	mg/100g	0.48
Vitamin B2	In-house method T 971 based on AOAC (2012) 970.65	mg/100g	0.08
Calcium	In-house method T 9152 based on AOAC (2012) 984.27	mg/100g	421
Iron	In-house method T 9152 based on AOAC (2012) 984.27	mg/100g	4.38
Moisture	AOAC (2012) 964.22	g/100g	5.06
Ash	AOAC (2012) 925.51	g/100g	4.85

2. การคืนตัวและสีระหว่างการเก็บรักษา

การเสื่อมเสียของอาหาร (Food spoilage) คือ การลดลงของคุณภาพอาหาร ทางด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้อาหารไม่เป็นที่ต้องการ ไม่ปลอดภัย หรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค ก่อนวางจำหน่ายจึงต้องศึกษาผลิตภัณฑ์สะท้อนทำแห้งที่เก็บในบรรจุภัณฑ์สำหรับวางจำหน่าย ดังรูปที่ 4 จำนวน 36 ของ จากชั้นวางที่อุณหภูมิห้อง เพื่อสรุปตัวอย่างวิเคราะห์ค่าสีและการคืนตัว เดือนละ 3 ของ ดังนี้

การวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์สะท้อนทำแห้งตามระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab (Colorflex EZ 45-0(LAV), Hunter Associates Laboratory, Inc.) โดยค่า L^* เป็นค่าของความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ค่า a^* เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness(+)/Greenness(-)) และค่า b^* เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness(+)/Blueness(-)) ทำการวัดค่าสีซ้ำอีก 2 ครั้ง ครั้งละ 3 ซ้ำ โดยเปลี่ยนตัวอย่างผลิตภัณฑ์สะท้อนทำแห้งทุกครั้งที่วัดค่าสี ผลการทดสอบในตารางที่ 4 ระบุว่าสะท้อนทำแห้งเมื่อเก็บที่เวลาผ่านไป 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง ในถุงบรรจุภัณฑ์ พบว่า ค่า L^* หรือค่าความสว่าง และค่า b^* มีค่าลดลง ในขณะที่ ค่า a^* ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียวมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงเมื่อเวลาผ่านไป สะท้อนจะมีค่าความสว่าง ค่าสีเขียว และค่าสีเหลืองลดลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 4 ค่าสีตามระบบ CIE ($L^*a^*b^*$) และเวลาที่ใช้ในการคืนตัวของสะท้อนทำแห้งที่อายุการเก็บรักษาต่าง ๆ

เดือนที่	L^*	a^*	b^*	เวลาที่ใช้ในการคืนตัว (นาท)
0	64.57	-8.70	32.25	180
1	63.77	-7.36	29.90	180
2	62.61	-5.27	33.41	180
3	59.42	-5.02	32.79	200
4	55.92	-4.67	32.20	200
5	53.69	-3.62	31.81	220
6	50.83	-2.69	31.42	220

การศึกษาการคืนตัว โดยเตรียมน้ำที่อุณหภูมิห้องใส่บีกเกอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 บีกเกอร์ นำสะท้อนที่เก็บไว้มาแช่น้ำในบีกเกอร์ละ 5 เมล็ด แล้วนำเมล็ดที่แช่น้ำซังทุก ๆ 20 นาที่ จนน้ำหนักของเมล็ดสะท้อนที่จิบ้นทิกเป็นเวลาที่ใช้ในการคืนตัว ซึ่งผลการทดสอบดังตารางที่ 4 แสดงระยะเวลาที่ต้องใช้แช่น้ำเพื่อการคืนตัวยาวนานขึ้น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้นานกว่า 2 เดือน

บทสรุป โอกาสและความสำเร็จของผลิตภัณฑ์

วิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมีสเตอร์สะท้อน เล็งเห็นช่องทางทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นผู้ประกอบการรายแรกที่พัฒนาสะท้อนคืนตัวได้เมื่อแช่น้ำ แม้เป็นสินค้าแปรรูปแต่ยังคงคุณลักษณะใกล้เคียงกับสะท้อนสด ทั้งรูป รส กลิ่น และสี โดยไม่ใช้สารเคมีในกระบวนการยืดอายุ สามารถใช้ทดแทนในการปรุงอาหาร ตอบโจทย์ลูกค้าที่ประสงค์รับประทานสะท้อนในทุกฤดูกาล หากเก็บรักษาไว้นานกว่า 6 เดือน เมื่อแช่น้ำนาน 220 นาที่ สะท้อนจะคืนตัวและมีค่าความสว่าง ค่าสีเขียว และค่าสีเหลือง ไม่แตกต่างจากสะท้อนสดมากนัก และยังมีสารอาหารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ Vitamin A, B1, B2, Iron และ Sodium เป็นต้น ในขณะที่สารอาหารที่สำคัญ เช่น Calcium Protein และ Fiber มีปริมาณสูง

การเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรที่เป็นพืชสำคัญของภาคใต้ แต่มีผลผลิตเพียง 4-5 เดือน อายุการเก็บรักษาสั้น และเดิมมีการแปรรูปที่จำกัด ได้สร้างรายได้ให้กับชุมชน สถานที่ผลิตตั้งอยู่ในแหล่งของวัตถุดิบจากแหล่งปลูกสะท้อนที่มีคุณภาพ คือเทือกเขาหลวง จังหวัดนครศรีธรรมราช การปลูกตามธรรมชาติ ปลอดภัยจากสารเคมี

ปนเปื้อน แต่ปริมาณผลผลิตอาจไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศแต่ละปี เนื่องจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเป็นกลุ่มขนาดเล็ก ในอนาคตอาจเสียเปรียบในการแข่งขันด้านการตลาด และเงินทุนที่ทำให้กำลังการผลิตมีไม่เพียงพอต่อการจำหน่าย

ผลิตภัณฑ์สะอาดที่คืนตัวได้ มีความโดดเด่นแตกต่างจากคู่แข่งทางการตลาด และได้รับรางวัลจากการประกวดของสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ ดังรูปที่ 5 เป็นผลของการพัฒนาจากฐานงานวิจัยและทดสอบระบบการทำแห้งสะอาดด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ ระบบทำแห้งด้วยลมร้อน ระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ระบบทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ความดันต่ำ และระบบทำแห้งด้วยอากาศแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เกิดองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการทำแห้งผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ที่ผลิตภัณฑ์มีมูลค่าสูงขึ้น ลดการสูญเสีย ลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยประหยัดพลังงาน



รูปที่ 4 บรรจุภัณฑ์ในการเก็บสะสมต่อทำแห้ง เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานวัฒนธรรมแห่งชาติ และอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย



รูปที่ 5 โปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ ที่ได้รับรางวัล
MOST's Innovation OTOP Awards 2017

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิจิตต์ วรรณชิต และ พชรินทร์ รัตนพงศ์, “ชีพลักษณะวิทยาของสะตอ (*Parkia speciosa* Hassk.) ในภาคใต้ของประเทศไทย”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 38, 561-570 (2007).
- [2] พิณ คัยญะพันธ์, ปราโมทย์ แก้ววงศ์ศรี และ วิจิตต์ วรรณชิต, “สะตอและชนิดพืชร่วมภายใต้ระบบวนเกษตรในภาคใต้ของประเทศไทย”, วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 1, 47-50 (2008).
- [3] Y. Kamisah, F. Othman, H. M. S. Qodriyah and K. Jaarin, “*Parkia speciosa* Hassk.: A potential phytomedicine”, Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2013, 709028 (2013).
- [4] N. Chhikara, H. R. Devi, S. Jaglan, P. Sharma, P. Gupta and A. Panghal, “A bioactive compounds, food applications and health benefits of *Parkia speciosa* (stinky beans): A review”, Agriculture & Food Security, 7, 46 (2018).
- [5] Y. Asikin, Kusumiyati, T. Shikanai and K. Wada, “Volatile aroma components and MS-based electronic nose profiles of dogfruit (*Pithecellobium jiringa*) and stink bean (*Parkia speciosa*)”, Journal of Advanced Research, 9, 79–85 (2018).
- [6] A. Ghasemzadeh, H. Z. G. Jaafar, M. F. M. Bukhori, M. H. Rahmat and A. Rahmat, “Assessment and comparison of phytochemical constituents and biological activities of bitter bean (*Parkia speciosa* Hassk.) collected from different locations in Malaysia”, Chemistry Central Journal, 12, 12 (2018).
- [7] S. Wonghirundecha, S. Benjakul and P. Sumpavapol, “Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of stink bean (*Parkia speciosa* Hassk.) pod extracts”, Songklanakarin Journal of Science and Technology, 36, 301–308 (2014).
- [8] R. Tocmo, D. Liang, C. Wang, J. Poh and D. Huang, “Organosulfide profile and hydrogen sulfide-releasing capacity of stinky bean (*Parkia speciosa*) oil: Effects of pH and extraction methods”, Food Chemistry, 190, 1123–1129 (2016).
- [9] H. L. Siow and C. Y. Gan, “Extraction of antioxidative and antihypertensive bioactive peptides from *Parkia speciosa* seeds”, Food Chemistry, 141, 3435–3442 (2013).
- [10] เอกสิทธิ์ จงเจริญรักษ์, ขวัญใจ แซ่ลิ้ม และ สุทธวัฒน์ เบญจกุล, “การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสะตอระหว่างการเก็บรักษา”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 39, 95-98 (2008).
- [11] เอกสิทธิ์ จงเจริญรักษ์, ขวัญใจ แซ่ลิ้ม และ สุทธวัฒน์ เบญจกุล, “ผลของพีเอชและการให้ความร้อนต่อกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสะตอ”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 41, 87-90 (2010).
- [12] Y. K. How and L. F. Siow, “Effects of convection-, vacuum- and freeze-drying on antioxidant, physicochemical properties, functional properties and storage stability of stink bean (*Parkia speciosa*) powder”, Journal of Food Science and Technology, 57, 4637–4648 (2020).
- [13] รวงนลิน เทพนวล, อรรณณ เรืองวัชรินทร์, พรพาดา จันทโร, อรุณทัย เจียมณี และ ศิริพร ทวีโรจนการ, “ผลของการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สะตอบแห้ง”, วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 12, 103-113 (2020).
- [14] M. Nisoa, K. Wattanasit, A. Tamman, Y. Sirisathitkul and C. Sirisathitkul, “Microwave drying for production of rehydrated foods: A case study of stink bean (*Parkia speciosa*) seed”, Applied Sciences, 11, 2918 (2021).
- [15] A. Menon, V. Stojceska and S. A. Tassou, “A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies”, Trends in Food Science & Technology, 100, 67–76 (2020).
- [16] C. Ratti, “Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review”, Journal of Food Engineering, 49, 311–319, (2001).
- [17] หมุดตอเล็บ หนิสอ, “นวัตกรรมไมโครเวฟในการผลิตผงนัวและข้าวพอง”, วารสารฟิสิกส์ไทย, 34, 30-36 (2017).