



อิทธิพลของสภาวะในการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของผงซีรีซินจากน้ำต้มรังไหมพันธุ์ดั้งเดิมของไทย

Spray Drying Conditions Affecting Characteristics of Sericin Powder Derived from Thai Native Silk Waste Water

ณัฐภูมิ เครือพงษ์ศักดิ์¹ จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์^{1*} และชลิดา เนียมนุ้ย²

Nattapoom Kruapongsak¹, Jindaporn Jamradloedluk^{1*}, and Chalida Niamnuay²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*Correspondent author: jindaporn.msu@gmail.com

Received July 27, 2011

Accepted August 16, 2011

บทคัดย่อ

ซีรีซินซึ่งเป็นโปรตีนก้อนกลมจากรังไหมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในอุตสาหกรรมความงาม อาหาร ยา และเครื่องนุ่งห่ม โดยน้ำต้มรังไหมซึ่งมีซีรีซินเป็นส่วนประกอบนั้นมักถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์และถ้าไม่มีการจัดการของเสียที่ี้อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเตรียมผงซีรีซินจากน้ำต้มรังไหมนางพินธุ์น้อยสกนนคร และพันธุ์ลำโรง โดยการนำรังไหมเปล่ามาต้มในน้ำอุณหภูมิ 95 °ซ ให้ได้น้ำต้มรังไหมที่มีความเข้มข้นประมาณ 2 °brix จากนั้นจึงนำน้ำต้มรังไหมที่ได้ไปอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (100-140 °ซ) อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า (28 และ 35 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง) และอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม (9 และ 12 มิลลิลิตร/นาที) ที่มีต่อสมบัติของผงซีรีซิน จากผลการศึกษาพบว่าความชื้นของผงซีรีซินลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้าและลดอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม นอกจากนี้อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมยังส่งผลกระทบต่อขนาดอนุภาค สีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงซีรีซินด้วย อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ สีเข้ม และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง อย่างไรก็ตาม สภาวะการอบแห้งที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และในภาพรวม พบว่า ผงซีรีซินที่เตรียมจากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

Abstract

Sericin, a globular protein in silk cocoon, could be used in the cosmetics, pharmaceutical, food, and textile industries. Silk waste water containing sericin has been uselessly disposed. Without a good waste management, silk waste water might cause an environmental problem. This research work aims to prepare sericin powder from silk waste water using spray drying process. Two varieties of Thai native cocoons (Nangnoi Sakonnakorn and

Samrong) were soaked in 95 °C hot water for a specific time to obtain the silk waste water with a concentration of 2 °brix. The silk waste water was then spray dried to study influences of the inlet air temperatures (100-140 °C), inlet air volumetric flow rates (28 and 35 m³/h), and silk waste water feed rates (9 and 12 ml/min) on properties of the sericin powder obtained. The experimental results showed that moisture content of the sericin powder decreased with increasing air temperature, increasing air volumetric flow rate and decreasing feed rate. The feed rate was also found to affect particle size, color, and antioxidant activity of the sericin powder. Drying at higher feed rate provided powder product with larger particle size, more intense color, and higher antioxidant activity than drying at lower feed rate. However, product yields obtained from different drying conditions were not significantly different (p>0.05). Properties of the sericin powder prepared from waste water of the two varieties of silk cocoons were comparable.

คำสำคัญ: เซรีซิน น้ำต้มรังไหม การอบแห้งแบบพ่นฝอย

Keywords: sericin, silk waste water, spray drying

1. บทนำ

ลักษณะการเลี้ยงไหมเพื่อผลิตผ้าไหมของประเทศไทยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ระดับ คือ ระดับครัวเรือนซึ่งมักใช้ไหมพันธุ์ไทยและไทยลูกผสม และระดับอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ไหมพันธุ์ลูกผสมต่างประเทศ โดยจากข้อมูลการผลิตเส้นไหมภายในประเทศในปี 2551 พบว่า มีจำนวนการผลิตเส้นไหมทั้งสิ้น 1,396 ตัน และสามารถส่งออกโดยคิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,500 ล้านบาท เนื่องจากผ้าไหมไทยมีความประณีตสวยงามและมีสีสันที่โดดเด่นทำให้ได้รับความนิยมสูงจึงมีแนวโน้มการส่งออกที่เพิ่มขึ้นในระยะยาว (1) เส้นไหมดิบประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ ไฟโบรอิน (fibroin) 70-75 เปอร์เซ็นต์ และเซรีซิน (sericin) 25-30 เปอร์เซ็นต์ ไฟโบรอินมีโครงสร้างที่เป็นผลึกอยู่ภายในเส้นไหม ประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลของโพลีเปปไทด์ที่มีโมเลกุลสูง ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ส่วนเซรีซินจะเคลือบไฟโบรอินและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า สามารถละลายได้ในน้ำร้อนและสารละลายต่างเจือจาง ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำโปรตีนจากรัง

ไหมมาใช้ประโยชน์ทั้งในส่วนจากรังไหมที่ตัดแล้ว เศษเส้นไหม (2) และรังไหมที่เสีย (3) โดยพบว่า โปรตีนจากรังไหมสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง อาหารเสริม วัสดุทางการแพทย์ ผสมหัวอาหารสัตว์ และเป็นสารป้องกันและกำจัดแมลง (4-5) โดยสมบัติต่างๆ ของโปรตีนจากรังไหม เช่น ปริมาณโปรตีนและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ไหม (3, 6) อย่างไรก็ตามโปรตีนในรังไหมจำนวนมากสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิต โดยส่วนหนึ่งละลายอยู่ในน้ำต้มรังไหม ในการสาวไหมแต่ละครั้ง น้ำต้มรังไหมซึ่งมีเซรีซินละลายอยู่จะถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้หากไม่มีกรรมวิธีกำจัดที่ดี น้ำต้มรังไหมอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีค่า COD สูง ดังนั้นการนำโปรตีนเซรีซินจากน้ำต้มรังไหมมาใช้ประโยชน์จึงเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าแก่น้ำต้มรังไหม และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการผลิตผงเซรีซินจากน้ำต้มรังไหมด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผล

กระทบต่อสมบัติของผงชิริซินที่ได้ และเปรียบเทียบสมบัติของผงชิริซินที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวกับการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมน้ำต้มรังไหมและการอบแห้ง

น้ำต้มรังไหมในงานวิจัยนี้เตรียมได้จากการนำรังไหมเปล่าพันธุ์นางน้อยสกนกร และพันธุ์สำโรงหนัก 1 กิโลกรัม มาล้างให้สะอาด จากนั้นต้มในน้ำกลั่นปริมาณ 6,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 90 นาที แล้วจึงนำรังไหมออกจากหม้อต้ม และทำการระเหยน้ำต่อจนได้น้ำต้มรังไหมความเข้มข้น 20brix ปริมาตรสุดท้าย 2,400 มิลลิลิตร จากนั้นจึงนำน้ำต้มรังไหมที่ได้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Mini-spray dryer B-290, Buchi, USA) โดยใช้สภาวะในการอบแห้งดังนี้ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 3 ระดับ (100, 120 และ 140°C) อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า 2 ระดับ (28 และ 35 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง) และอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม 2 ระดับ (9 และ 12 มิลลิลิตร/นาที) ในระหว่างการอบแห้งได้จับเวลาที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอบแห้งแล้วจึงชั่งน้ำหนักผงชิริซินที่ได้แล้วเก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป โดยแต่ละสภาวะอบแห้งได้ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

2.2 การทดสอบสมบัติของผงชิริซินที่ได้

สำหรับความชื้นของผงชิริซินหาได้โดยการนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนตามมาตรฐาน AOAC (7) สีของผลิตภัณฑ์วัดด้วยเครื่องวัดสีแบบฮันเตอร์ (Mini Scan XE Plus, Hunter Associates Laboratory, Reston-Virginia, USA) ค่าปริมาณน้ำอิสระวัดโดยใช้ Water activity meter (AquaLab LITE, DECAGON, USA) ทดสอบการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการแบบ DPPH ซึ่งคัดแปลงมาจาก Wu และคณะ (5)

และวิธีการแบบ FRAP ซึ่งคัดแปลงมาจาก Benzie และคณะ (8) นอกจากนี้ยังได้ตรวจสอบลักษณะของอนุภาคผงชิริซินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL, model JSM-5800LV, Tokyo, Japan) ที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์

3. ผลการศึกษา

3.1 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความชื้นของผงชิริซิน

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า และอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของผงชิริซินที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1-2 พบว่า อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นของผงชิริซินที่เตรียมจากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่า การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิตัวกลางและอนุภาคผงชิริซินมีค่ามากขึ้น อัตราการถ่ายโอนความร้อนจึงเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นในอนุภาคผงชิริซินลดลงได้ง่าย (9) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณความชื้นของผงชิริซินมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่า อัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มอากาศที่รอบอนุภาคน้ำต้มรังไหมมีความหนาแน่นลดลง เป็นผลทำให้ความต้านทานการถ่ายโอนความร้อนลดลง (10) ความชื้นจึงลดลงได้ง่าย นอกจากนี้การเพิ่มอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้ายังส่งผลให้อุณหภูมิน้ำต้มรังไหมมีโอกาสในการสัมผัสกับกระแสอากาศมากขึ้นด้วย ดังนั้นการถ่ายโอนความร้อนจากกระแสอากาศไปยังอนุภาคน้ำต้มรังไหมจึงมากขึ้น

ส่วนอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่มากขึ้นส่งผลให้ผงชิริซินที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าอัตราการป้อนที่มากขึ้นทำให้ปริมาณสารในหี้ออบแห้งมากขึ้น การสัมผัสกันระหว่าง

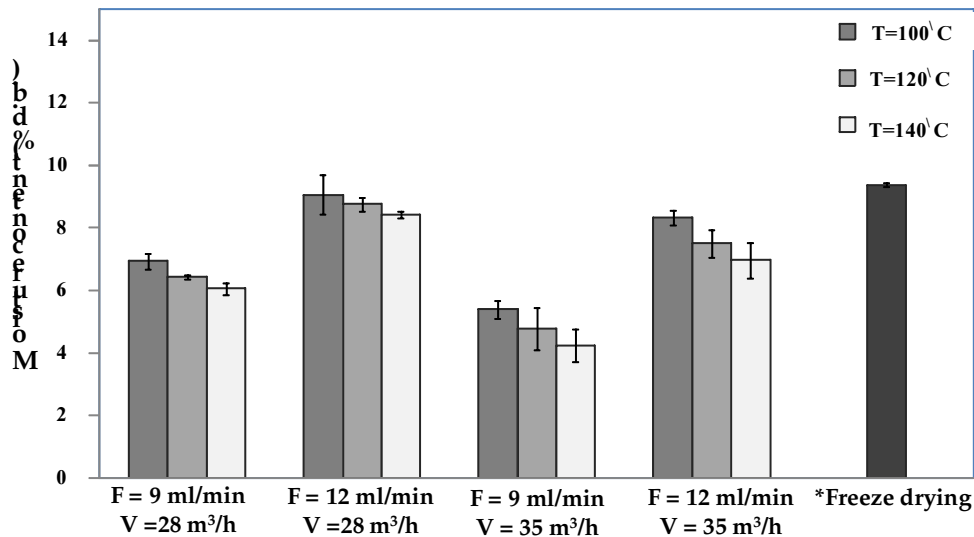
ละอองน้ำต้มรังไหมและตัวกลางในการอบแห้งจึงไม่ทั่วถึง ความชื้นในผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โดยทั่วไปยังพบว่า การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบมักทำให้หยดละอองผลิตภัณฑ์ (atomizing drop) มีขนาดเฉลี่ยใหญ่ซึ่งอาจเป็นเหตุให้หยดละอองผลิตภัณฑ์มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับอากาศร้อนน้อยความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงมาก (11) สำหรับการอบแห้งในทุกสภาวะการทดลองใช้ระยะเวลาอยู่ในช่วง 4-5 ชั่วโมง และที่สภาวะในการอบแห้งเดียวกัน ความชื้นของผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยความชื้นที่ได้จากทุกสภาวะการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 4.23 – 9.06 % d.b. และ 4.07 – 8.92 % d.b. สำหรับผงชิริชินที่เตรียมจากน้ำต้มรังไหมพันธุ์นางน้อยสกจนคร และพันธุ์สำโรง ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกหลายทิศทาง (Multi - Way ANOVA) พบว่า อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า และอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม มีอิทธิพลต่อความชื้นของผงชิริชินอย่างมีนัยสำคัญ

($p < 0.05$) โดยที่อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมมีอิทธิพลมากกว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าตามลำดับ

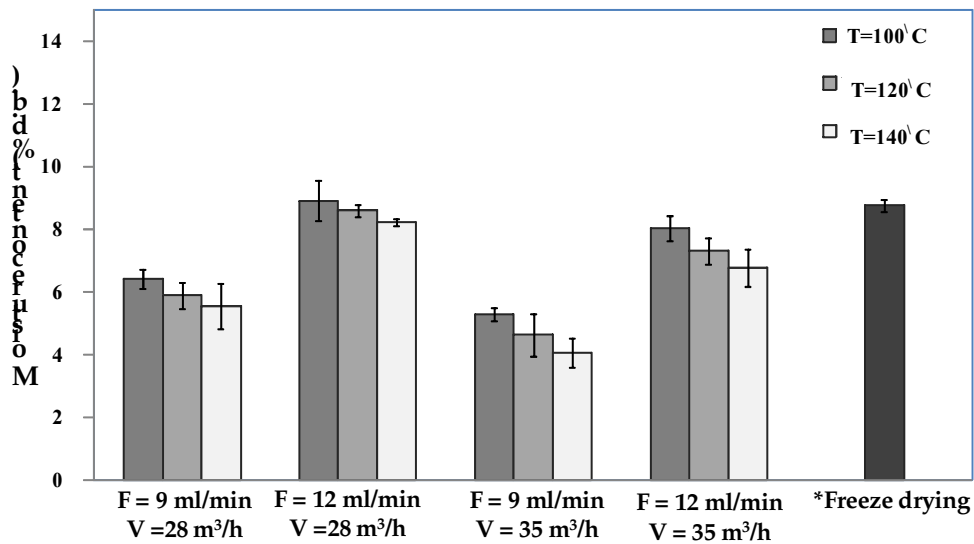
เมื่อเปรียบเทียบความชื้นของผงชิริชินที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยและการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ผงชิริชินที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยส่วนใหญ่มีค่าความชื้นน้อยกว่าที่ได้จากการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ผงชิริชินที่เตรียมจากน้ำต้มรังไหมพันธุ์นางน้อยสกจนคร และพันธุ์สำโรงเท่ากับ 9.38 ± 0.07 % d.b. และ 8.77 ± 0.18 % d.b. ตามลำดับ

3.2 ลักษณะรูปร่างของผงชิริชิน

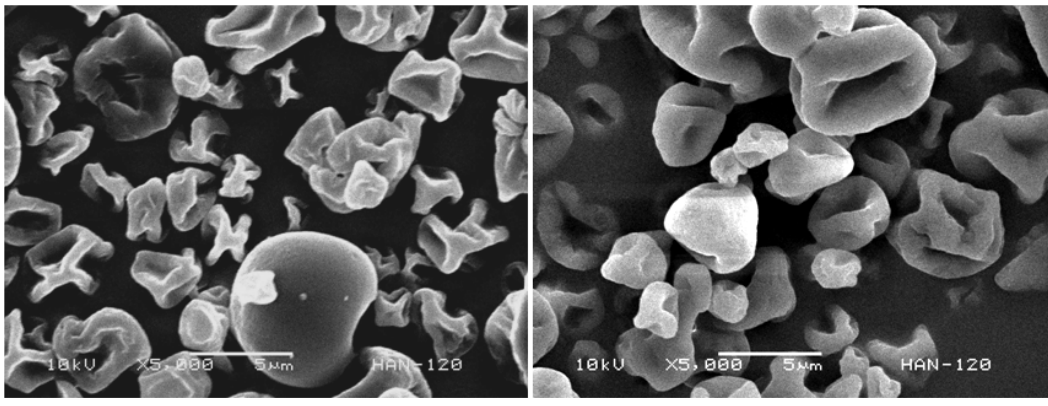
เมื่อนำผงชิริชินที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบลักษณะที่คล้ายกันดังแสดงในรูปที่ 3 โดยอนุภาคชิริชินซึ่งเป็นโปรตีนก้อนกลม (globular protein) จะมีลักษณะการสูญเสียรูปร่างเนื่องจากความร้อน โดยจะเห็นว่า อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงขึ้นจะ



รูปที่ 1. อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อความชื้นของผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมพันธุ์นางน้อยสกจนคร T=อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า; F=อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม; V=อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า)



รูปที่ 2. อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อความชื้นของผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมพันธุส์ำโรง (T=อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า; F=อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม; V=อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า)



รูปที่ 3. อนุภาคผงชิริชินที่ขนาดกำลังขยาย 5000X ซึ่งได้จากการอบแห้งน้ำต้มรังไหมพันธุส์ำโรง น้อยสกลนคร อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 120 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า 35 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
 a. อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม 9 มิลลิเมตรต่อนาที
 b. อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหม 12 มิลลิเมตรต่อนาที

ส่งผลให้เกิดการสูญเสียรูปร่างที่น้อยลง ทำให้อนุภาคของผงชิริชินที่ได้จากสภาวะอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงมีขนาดใหญ่กว่าที่สภาวะอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่ต่ำ ทั้งนี้ก็เนื่องจากการใช้อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงจะทำให้ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องอบแห้งลดลง ทำให้การสูญเสียรูปร่างเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งผลการ

ทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่า อัตราการป้อนสารที่มีมากส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ หรือมีความหนาแน่นที่ต่ำ (10-12)

3.3 สี ปริมาณผลได้ และปริมาณน้ำอิสระ

นอกเหนือจากค่าความชื้นแล้ว ได้ทำการศึกษาสมบัติอื่นๆของผงชิริชินที่ได้ด้วย เช่น ปริมาณ

ตารางที่ 1. สี ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ และปริมาณน้ำอิสระ ของผงชิริชินที่ได้จากการอบแห้งน้ำต้มรังไหมสายพันธุ์นางน้อยสกกลนคร ที่สภาวะต่างๆ

Inlet temperature (°C)	Air		L-value	a-value	b-value	Yield dry (mg/ml)	a _w (%)	Drying time (hour)
	volumetric flow rate (m ³ /h)	Feed rate (ml/min)						
100	28	9.0	66.28±3.73 ^{bc}	3.38±0.38 ^{abc}	33.73±0.55 ^{ab}	10.04±0.54 ^a	0.385±0.004 ^d	4.75
100	28	12.0	53.37±1.20 ^a	3.21±0.10 ^a	35.64±0.22 ^b	9.34±1.55 ^a	0.422±0.001 ^a	3.58
100	35	9.0	68.49±1.79 ^{cd}	3.73±0.16 ^{cd}	32.97±0.69 ^{ab}	9.63±1.05 ^a	0.373±0.003 ^{bcd}	4.83
100	35	12.0	63.76±2.78 ^b	3.32±0.19 ^{ab}	34.65±1.33 ^{ab}	9.52±1.29 ^a	0.415±0.004 ^a	3.75
120	28	9.0	70.67±0.89 ^{cd}	3.73±0.05 ^{bcd}	33.72±0.52 ^{ab}	10.87±1.04 ^a	0.354±0.025 ^{bc}	4.93
120	28	12.0	67.72±1.60 ^{cd}	3.25±0.10 ^a	35.54±1.13 ^b	10.76±0.52 ^a	0.417±0.007 ^a	3.65
120	35	9.0	73.57±1.74 ^e	3.80±0.22 ^{cd}	32.23±1.13 ^{ab}	10.21±0.29 ^a	0.350±0.010 ^b	4.75
120	35	12.0	70.53±1.43 ^{cd}	3.32±0.12 ^{ab}	34.23±1.58 ^{ab}	8.61±2.21 ^a	0.393±0.006 ^d	3.58
140	28	9.0	79.92±0.17 ^f	4.14±0.11 ^{de}	32.86±0.30 ^{ab}	7.73±3.16 ^a	0.351±0.006 ^b	4.92
140	28	12.0	72.88±2.18 ^e	3.47±0.09 ^{abc}	35.48±1.16 ^b	9.88±0.46 ^a	0.391±0.011 ^d	3.67
140	35	9.0	83.61±3.86 ^f	4.35±0.05 ^e	31.73±1.77 ^a	8.83±1.56 ^a	0.326±0.005 ^a	4.75
140	35	12.0	72.85±0.25 ^e	3.84±0.21 ^{cd}	34.38±2.09 ^{ab}	10.52±0.56 ^a	0.377±0.002 ^{cd}	3.62
Freeze dried product			52.41±0.67	3.17±0.07	35.79±0.27	28.82	0.424±0.008	24

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในระดับเดียวกันจะให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลได้ของผลิตภัณฑ์ (yield) ค่าสีซึ่งแสดงในรูปค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) รวมถึงปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ซึ่งสมบัติดังกล่าวได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 ซึ่งจากตารางดังกล่าวพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนเข้าจาก 100 °ซ เป็น 140 °ซ ส่งผลให้ผงชิริชินที่ได้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าสีเหลืองมากนัก และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่มีผลต่อค่าสี พบว่า อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงขึ้นมีแนวโน้มให้ผงชิริชินที่มีสีเข้มขึ้น (ความสว่างลดลงและค่าสีเหลืองสูงขึ้น) จากงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า ความชื้นหรือปริมาณน้ำอิสระในวัสดุอบแห้งมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะสีทั้งในเนื้อสัตว์ (13-14) ผลิตภัณฑ์ผง และผลไม้อบแห้ง (15-17) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะพบว่า ความชื้นหรือปริมาณน้ำ

อิสระที่เพิ่มขึ้นมักส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ซึ่งช่วงความชื้นหรือปริมาณน้ำอิสระที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจน (ปริมาณน้ำอิสระวิกฤต) จะแตกต่างกันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์ เช่น สำหรับอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีค่าปริมาณน้ำอิสระวิกฤตเท่ากับ 0.5 (18) ในขณะที่ผงเกรพฟรุติมีค่าปริมาณน้ำอิสระวิกฤตประมาณ 0.43 (16) เป็นต้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมส่งผลให้ผงชิริชินที่ได้มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระดังกล่าวอาจเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังนั้นผงชิริชินจึงมีลักษณะสีที่เข้มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสีของผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์ พบว่า ผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์มีสีใกล้เคียงกันมาก

ในส่วนปริมาณผลได้ (yield) ของผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมพันธุ์ลำไยนั้นจะเห็นว่าขึ้นอยู่กับ

ตารางที่ 2. สี ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ และปริมาณน้ำอิสระ ของผงชิริชินที่ได้จากการอบแห้งน้ำต้มรังไหมสายพันธุ์ สำโรง ที่สภาวะอบแห้งต่างๆ

Inlet temperature (°C)	Air volumetric flow rate (m ³ /h)	Feed rate (ml/min)	L-value	a-value	b-value	Yield _{dry} (mg/ml)	a _w (%)	Drying time (hour)
100	28	9.0	66.58±3.72 ^{bc}	3.42±0.39 ^{ab}	33.58±0.60 ^{abc}	9.76±0.95 ^a	0.380±0.005 ^c	4.70
100	28	12.0	53.64±1.26 ^a	3.29±0.13 ^a	35.52±0.22 ^c	8.29±1.54 ^a	0.421±0.002 ^d	3.55
100	35	9.0	68.75±1.79 ^{bcd}	3.78±0.18 ^{abc}	32.83±0.70 ^{abc}	8.11±1.05 ^a	0.370±0.005 ^c	4.77
100	35	12.0	64.06±2.76 ^b	3.38±0.21 ^{ab}	34.52±1.33 ^{abc}	8.85±0.34 ^a	0.412±0.003 ^d	3.73
120	28	9.0	70.96±0.85 ^{cd}	3.78±0.08 ^{abc}	33.61±0.52 ^{abc}	9.52±0.84 ^a	0.348±0.024 ^b	4.90
120	28	12.0	67.99±1.59 ^{bcd}	3.28±0.10 ^a	35.35±1.09 ^{bc}	9.02±0.44 ^a	0.412±0.009 ^d	3.63
120	35	9.0	73.83±1.82 ^d	3.89±0.27 ^{bc}	32.06±1.10 ^{ab}	10.88±2.98 ^a	0.345±0.010 ^{ab}	4.62
120	35	12.0	70.80±1.38 ^{cd}	3.40±0.14 ^{ab}	34.07±1.55 ^{abc}	8.87±0.14 ^a	0.385±0.005 ^c	3.50
140	28	9.0	80.18±0.15 ^a	4.19±0.12 ^{cd}	32.71±0.31 ^{abc}	11.31±3.43 ^a	0.339±0.006 ^{ab}	4.87
140	28	12.0	73.17±2.14 ^d	3.52±0.12 ^{ab}	35.36±1.17 ^{bc}	8.68±0.80 ^a	0.386±0.007 ^c	3.63
140	35	9.0	83.91±3.85 ^a	4.39±0.06 ^d	31.58±1.73 ^a	11.16±3.81 ^a	0.324±0.005 ^a	4.70
140	35	12.0	73.13±0.33 ^d	3.91±0.23 ^{bc}	34.21±2.11 ^{abc}	8.94±0.17 ^a	0.373±0.003 ^c	3.52
Freeze dried product			53.37±1.29	3.27±0.12	35.66±0.25	23.87	0.410±0.002	24

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในระดับเดียวกันจะให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กับอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมเป็นหลัก โดยอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงจะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต่ำตามไปด้วย ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าผลิตภัณฑ์ไม่สามารถแห้งได้ทันในระยะเวลาที่อยู่ในห้องอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ตกลงสู่โถเก็บเร็วกว่ากำหนด อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ปริมาณผลได้ของผงชิริชินที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลได้ของผงชิริชินจากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์ พบว่า น้ำต้มรังไหมสายพันธุ์นางน้อยให้ปริมาณผลได้ที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มกว่า และได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่มากกว่า ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าใช้เวลาในการอบแห้งที่นาน และไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ติดผนังห้องอบแห้งเหมือนกับกรณีของการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ส่วนปริมาณน้ำอิสระของผงชิริชินที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ พบว่า มีค่า

อยู่ในช่วง 0.32 - 0.42 ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัยสำหรับผลิตภัณฑ์ผง (19) และอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำอิสระมากที่สุด โดยเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมจะทำให้ได้ผงชิริชินที่มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

เมื่อเปรียบเทียบผงชิริชินที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับผงชิริชินที่ได้จากการอบแห้งน้ำต้มรังไหมพันธุ์จินของจินดาพร และคณะ (20) พบว่าปริมาณผลได้และสีของผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยในกรณีของน้ำต้มรังไหมพันธุ์จินจะให้ปริมาณผลได้มากกว่าและผงชิริชินที่ได้มีความสว่างมากกว่า ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าในการอบแห้งน้ำต้มรังไหมพันธุ์จินนั้นมีการเติมมอลโตเด็คตรินเพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งละลายได้ ดังนั้นมอลโตเด็คตรินจึงส่งผลต่อปริมาณและลักษณะของผงชิริชินที่ได้

3.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงชิริชิน

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับผงชิริชินคือ ความสามารถในการต้านทานอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 3. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงชิริชินซึ่งทดสอบด้วยวิธีการ DPPH (2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Inlet temperature (°C)	Air volumetric flow rate (m ³ /h)	Feed rate (ml/min)	IC ₅₀ mg/mL		% Radical scavenging activity at 20 mg/ml	
			Nangnoi	Samrong	Nangnoi	Samrong
100	28	9.0	16.70	15.99	62.93±0.57 ^{ef}	63.39±0.05 ^d
100	28	12.0	13.23	13.65	72.93±1.27 ^h	73.188±1.58 ^s
100	35	9.0	15.70	14.56	59.46±1.41 ^{bc}	59.044±1.78 ^b
100	35	12.0	14.91	14.06	67.78±1.34 ^{fg}	66.280±0.64 ^{de}
120	28	9.0	17.37	17.41	57.95±0.99 ^{ab}	56.390±1.11 ^b
120	28	12.0	13.79	11.96	70.05±0.54 ^{gh}	68.650±0.60 ^e
120	35	9.0	17.59	16.53	57.02±1.21 ^{ab}	56.507±1.70 ^b
120	35	12.0	13.30	14.99	65.50±0.75 ^{ef}	62.858±0.95 ^{cd}
140	28	9.0	16.69	17.35	56.13±1.56 ^{ab}	52.772±2.30 ^a
140	28	12.0	14.23	16.44	66.54±2.85 ^f	63.158±2.45 ^d
140	35	9.0	17.14	18.59	55.35±0.64 ^a	52.614±0.48 ^a
140	35	12.0	15.94	18.74	62.26±0.30 ^{cd}	59.627±0.70 ^{bc}
Freeze dried product			13.58	14.397	75.07±0.50	74.098±0.18
Trolox (µg/mL)			17.94			

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในสคมภ์เดียวกันจะให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

โดยสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระของผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์ ได้แก่ แครโรทีนอยด์ (carotenoid) และฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งจะให้สีลักษณะส้มเหลือง (21) ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ DPPH radical scavenging activity และ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมมีอิทธิพลต่อค่า IC₅₀ และ % Radical scavenging activity มากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า และอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้า ตามลำดับ โดยอัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ต่ำ และอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าที่ต่ำ จะให้ผงชิริชินที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่า อัตราการป้อนน้ำต้มรังไหมที่สูงทำให้ระยะเวลาที่ละอองน้ำ

ต้มรังไหมสัมผัสกับอากาศร้อนน้อยลง ส่วนอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าที่ต่ำจะทำให้โอกาสในการสัมผัสกันระหว่างละอองน้ำต้มรังไหมกับอากาศน้อยลง จึงทำให้สารต้านอนุมูลอิสระยังคงไม่เสื่อมสภาพ ในทำนองเดียวกันอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ต่ำทำให้สารต้านอนุมูลอิสระเสื่อมสภาพน้อยเช่นกัน อย่างไรก็ตามผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมทั้งสองสายพันธุ์มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า IC₅₀ อยู่ในช่วง 13.23 - 17.14 และ 13.65-18.74 สำหรับผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมสายพันธุ์นางน้อยสกนครและสำโรง ตามลำดับ และมีค่า % Radical scavenging activity อยู่ในช่วง 55.35 - 72.93% และ 52.61 - 74.10 % สำหรับผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมสายพันธุ์นางน้อยสกนครและสำโรง ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงชิริชิน % Radical scavenging activity ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ

ตารางที่ 4. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงชิริชินซึ่งทดสอบด้วยวิธีการ FRAP (Ferric reducing antioxidant power)

Inlet temperature (°C)	Air volumetric flow rate (m ³ /h)	Feed rate (ml/min)	Antioxidant concentration mM/g _{dry}	
			Nangnoi	Samrong
100	28	9.0	76.75±1.75 ^e	47.25±3.44 ^{de}
100	28	12.0	105.00±6.16 ^h	78.25±4.34 ^f
100	35	9.0	62.75±3.041 ^d	32.167±5.80 ^c
100	35	12.0	95.17±3.71 ^g	70.333±4.16 ^b
120	28	9.0	62.42±3.40 ^d	30.00±0.66 ^c
120	28	12.0	94.92±0.76 ^g	64.92±0.52 ^{gh}
120	35	9.0	40.75±1.95 ^b	14.50±2.14 ^b
120	35	12.0	79.92±1.04 ^e	53.42±2.13 ^{ef}
140	28	9.0	51.750±1.000 ^c	25.50±1.25 ^c
140	28	12.0	87.00±0.66 ^f	59.50±0.25 ^{fg}
140	35	9.0	32.00±1.39 ^a	7.58±1.61 ^a
140	35	12.0	74.00±1.95 ^e	45.83±2.47 ^d
Freeze dried product			105.167±1.47	96.083±3.17

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในสมมติเดียวกันจะให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จารุณีย์ ทองผาสุก และคณะ (22) (70.29%: โหมพื้นฐานน้อย) ซึ่งเป็นการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระจากรังไหมพื้นฐานน้อยสกุลนคร แต่มีค่าน้อยกว่าการทดลองของหุทัย ฐานันท์ และคณะ (23) (82.74%) ซึ่งเป็นการศึกษาไหมพื้นฐานน้อยศรีสะเกษ เนื่องจากใช้ตัวทำลายที่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาค่า IC₅₀ พบว่า ในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่า งานวิจัยของ สัตถ์รัตน์ พ่วงพิสุทธิ และคณะ (24) (35.87±0.002 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร: พันธุ์โนนฤทัย) ซึ่งความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเป็นผลมาจากความแตกต่างของพันธุ์ไหมการสกัดผงชิริชิน และความเข้มข้นในการหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบการความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 จากตารางดังกล่าวพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้าจะทำให้ความเข้มข้นของสารยับยั้งออกซิเดชันในผงชิริซินลดลง ในขณะที่การเพิ่มอัตราการป้อนน้ำต้มรังใหม่จะ

ทำให้ความเข้มข้นของสารยับยั้งออกซิเดชันในผงชิริซินมีค่าสูงขึ้น ซึ่งให้แนวโน้มที่ชัดเจนกว่าการทดสอบแบบ DPPH ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีการทดสอบแบบ FRAP ซึ่งเป็นการทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนอาจจะเหมาะสมกับการหาค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระของผงไหมมากกว่าวิธีการทดสอบแบบ DPPH เนื่องจากผลของสเตอริก (Steric effect) โดยโมเลกุลในสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำปฏิกิริยากับ DPPH อยู่ในตำแหน่งที่เข้าทำปฏิกิริยาได้ยาก (25) โดยความเข้มข้นของสารยับยั้งออกซิเดชันในผงชิริชินที่เตรียมจากน้ำต้มรังไหมพื้นฐานน้อยสกุลนคร และพันธุ์สำโรงมีค่าอยู่ในช่วง 32.00 – 105.00 mM/g_{dry} และ 7.58 – 78.25 mM/g_{dry} ตามลำดับ

4.สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาอิทธิพลของสภาวะในการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อสมบัติของผงชิริชินที่ได้จากน้ำต้มรังไหมสายพันธุ์นางน้อยสกุลนคร และสายพันธุ์สำโรง พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า

และการลดอัตราการป้อนน้ำดื่มใหม่จะทำให้ได้ผงซีรีซินที่มีความชื้นที่ต่ำลง โดยความชื้นของผงซีรีซินที่ได้จากทุกสภาวะการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 4.07-9.06 %d.b. ตรงกับค่าปริมาณน้ำอิสระในช่วง 0.32-0.42 ซึ่งถือว่าปลอดภัยสำหรับผลิตภัณฑ์ผง นอกจากนี้ยังพบว่า การลดอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำดื่มใหม่มีแนวโน้มให้ผงซีรีซินที่มีความสว่างลดลง และการเพิ่มอัตราการป้อนน้ำดื่มใหม่ยังทำให้ได้ผงซีรีซินที่มีขนาดใหญ่ และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย เมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่า อัตราการป้อนน้ำดื่มใหม่เป็นตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะของผงซีรีซินมากที่สุด รองลงมา คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนขาเข้า ตามลำดับ คุณลักษณะของผงซีรีซินที่ได้จากน้ำดื่มใหม่ทั้งสองสายพันธุ์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับผงซีรีซินที่เตรียมจากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยและการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การอบแห้งแบบพ่นฝอยจะให้ผงซีรีซินที่มีความชื้นต่ำกว่า มีค่าความสว่างมากกว่า และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่น้อยกว่า การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Ministry of Agriculture and Cooperatives. [Internet]. 2008 [updated 2008 Jan 10]. Available from: <http://www.moac.go.th/builder/mu/index.php?page=415&clicksub=415 &sub=129>
- (2) Wilai S, Promboon A, Hongthongdaeng S. Study on production of silk powder from cocoon. Annual research report Bivoltine mulberry silkworm hybrid.

- Department of Agricultural. 2000; 290-295. Thai
- (3) Sarovart S, Sudatis B, Meesilpa P, Grady BP, Magaraphan R. The used of sericin as an antioxidant and antimicrobial for polluted air treatment. *Rev Adv Mater Sci.* 2003; 5: 193-8.
- (4) Fabiani C, Pizzichini M, Spadoni M, Zeddit G. Treatment of waste water from silk degumming processes for protein recovery and water reuse. *Desalination.* 1996; 105(1-2): 1-9.
- (5) Wu JH, Wang Z, Xu SY. Preparation and characterization of sericin powder extracted from silk industry waste water. *Food Chem.* 2007; 103(4): 1255-62.
- (6) Damrongchai N, Anguravirutt S, Niamsa N. Study of protein from silkworm and sericin solution. Research report. Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahasarakham University; 2001; 52 p. Thai
- (7) AOAC. Official methods of analysis. 1995: 15th ed. Association of Official analytical Chemists, Washington, D.C.
- (8) Benzie IF, and Strain JJ, The ferric reducing ability of plasma as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Anal Biochem.* 1996; 239(1): 70-6.
- (9) Goula AM, Adamopoulos KG. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *J Food Eng.* 2005; 66(1): 35-42.
- (10) Asano, R. Drying equipment of noodles. *Food Science.* 1981; 56-9.

- (11) Rattes ALR, Oliveira WP. Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac micro-particles. *Powder Technol.* 2007; 171(1): 7-14.
- (12) Mohebbi M, Akbarzadeh-T MR, Shahidi F, Moussavi M, Ghoddusi HB. Computer vision systems (CVS) for moisture content estimation in dehydrated shrimp. *Comput Electron Agric.* 2009; 69(2): 128-34.
- (13) Daggupati VN, Naterer GF, Gabriel KS, Gravelins RJ, Wang ZL. Effects of atomization conditions and flow rates on spray drying for cupric chloride particle formation. *Int J Hydrogen Energy.* Forthcoming 2011.
- (14) Zheng C, Sun DW, Zheng L. Correlating colour to moisture content of large cooked beef joints by computer vision. *J Food Eng.* 2006; 77(4): 858-63.
- (15) Yan Z, Sousa-Gallagher MJ, Oliveira FAR. Mathematical modelling of the kinetic of quality deterioration of intermediate moisture content banana during storage. *J Food Eng.* 2008; 84(3): 359-67.
- (16) Telis VRN, Martínez-Navarrete N. Application of compression test in analysis of mechanical and color changes in grapefruit juice powder as related to glass transition and water activity. *LWT - Food Sci Technol.* 2010; 43(5): 744-51.
- (17) Topuz A. A novel approach for color degradation kinetics of paprika as a function of water activity. *LWT - Food Sci Technol.* 2008; 41(9):1672-7.
- (18) Venir E, Munari M, Tonizzo A, Maltini E. Structure related changes during moistening of freeze dried apple tissue. *J Food Eng.* 2007; 81(1): 27-32.
- (19) Quek SY, Chok NK, Swedlund P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chem Eng Process.* 2007; 46(5): 386-92.
- (20) Jamradloedluk J, Wiset L. Production of protein powder from silk waste water by spray drying technique. *Agric Sci.* 2008; 39(3): 473-6. Thai
- (21) Prommuak C, De-Eknamkul W, Shotipruk A. Extraction of flavonoids and carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extracts. *Sep Purif Technol.* 2008; 62(2): 444-8.
- (22) Thongphasuk J, Thongphasuk P. Antioxidant from silk cocoon and mulberry leaves [Internet]. 2006. Available from: <http://www.oaep.go.th/nstkc/content/view/512/29/1/5/>
- (23) Thananan H, Chuakamjun A. Antioxidant activity of silk powder. Department of Chemistry, Faculty of Science, Rangsit University. Thai
- (24) Phuangborisut S, Winitchai S, Rimkeeree H, Haruthaithanasa V, Tadakittisarn, S. Free radical scavenging capacity, tyrosinase activity inhibition, some physical and chemical properties of noneruesee silk protein powder prepared by various extraction methods. Proceedings of the 48th Kasetsart University Annual Con-

ference; 2010 Feb 3-5; Bangkok, Thailand; 2010. P. 319-27. Thai

- (25) Niamnuy C, Nachaisin M, Laohavanich J, Devahastin S. Evaluation of bioactive compounds and bioactivities of soybean dried by different methods and conditions. *Food Chem.* 2011; 129(3): 899-906.