



อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
ในกระชายดำ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์
ทางชีวภาพในกระชายดำ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF DRYING USING A GREENHOUSE SOLAR DRYER ON THE QUALITY
AND BIOACTIVE COMPOUNDS IN BLACK GALINGALE (*KAEMPFERIA*
PARVIFLORA WALL. EX BAKER)



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (FOOD TECHNOLOGY)
Department of FOOD TECHNOLOGY
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2018
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อ คุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำ
โดย	จรรยา เกวียนวงษ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรากรณ์ มหาโยธี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์ไโลชาติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรากรณ์ มหาโยธี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ คูวิจิตรจากรู)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร. สืบพงษ์ กอวชิรพันธ์)

58403202 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

คำสำคัญ : การทำแห้ง สมุนไพร ฟลาโวนอยด์ ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

นางสาว จริยา เกวียนวงษ์: อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของเหง้ากระชายดำ ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำแห้ง โดยการศึกษาผลของการให้ความร้อนใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ในการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ก่อนการทำแห้ง และการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด แปรค่าอุณหภูมิที่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส สำหรับการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งได้แก่การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก และการตากแดด พบว่าการให้ความร้อนเหง้ากระชายดำส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าสี ปริมาณ ความชื้น ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำ โดยการให้ความร้อนส่งผลต่อมีกระชายดำมีสีม่วงเข้มมาก มีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์การทำแห้งขึ้นกระชายดำพบว่าการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำให้แห้งสูงสุดโดยใช้เวลาในการทำแห้ง 6 ชั่วโมง และขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำให้แห้งต่ำกว่า ใช้เวลาในการทำแห้ง 46 ชั่วโมง การทำให้แห้งกระชายดำจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 73.11-79.67 ให้เหลือปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ในขณะที่การทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการทำแห้ง 32 ชั่วโมง และการทำให้แห้งขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วนำมาตากแดดมีอัตราการทำให้แห้งที่ต่ำที่สุด ใช้เวลาในการทำแห้ง 74 ชั่วโมง ในด้านคุณภาพด้านสี พบว่าขึ้นกระชายดำแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีสีม่วงซีดลงในขณะที่ขึ้นกระชายดำแห้งที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีสีม่วงเข้มอม น้ำเงิน ส่วนขึ้นกระชายดำแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดพบว่าขึ้นกระชายดำแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยการตากแดดมีสีน้ำตาลอ่อน แต่ขึ้นกระชายดำแห้งที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังคงสีม่วงไว้ได้ นอกจากนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งและวิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าการทำให้แห้งขึ้นกระชายดำทั้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบ

5,7-dimethoxyflavone มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ $1,778.79 \pm 60.38$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ $1,799.14 \pm 34.75$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone พบว่าการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 407.88 ± 88.93 ในขณะที่การทำแห้งกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด พบว่าการทำแห้งด้วยวิธีตากแดดขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งมีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone น้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ $1,181.73 \pm 32.87$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด พบว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 231.04 ± 11.38 นอกจากนี้อุณหภูมิและวิธีการทำแห้งกระชายดำส่งผลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนการทำแห้ง โดยขึ้นกระชายดำแห้งที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากกว่าขึ้นกระชายดำแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้ง สภาวะการทำแห้งที่แนะนำการทำแห้งกระชายดำหนา 0.5 เซนติเมตร ได้แก่การทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาตที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีม่วงเข้ม มีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone มากที่สุด มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมาก และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่สั้น แต่มีค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำแห้งกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งนั้น ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีม่วงเข้ม และยังคงรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้แก่ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในกระชายดำอบแห้งได้ใกล้เคียงกับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกจึงเหมาะสมกับการทำแห้งกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้ง

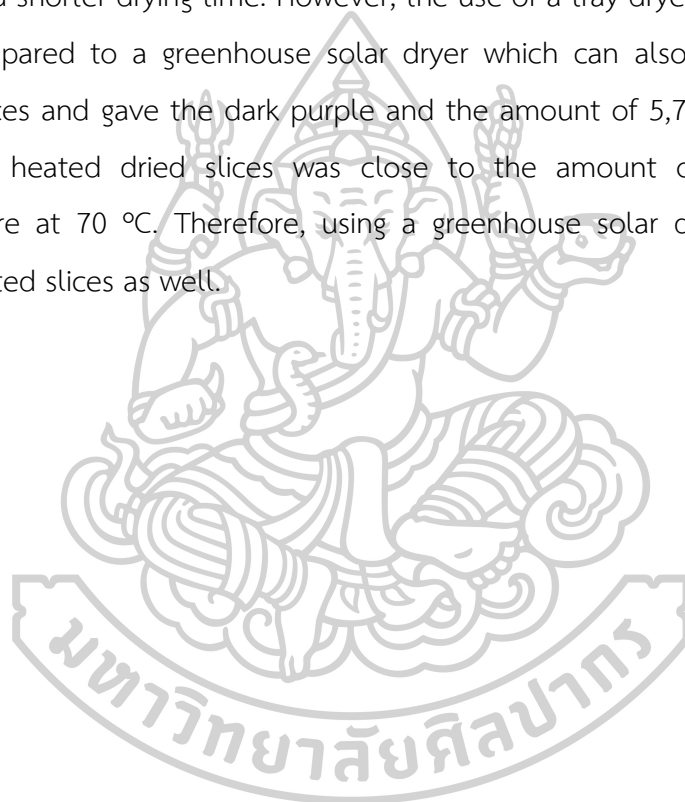
58403202 : Major (FOOD TECHNOLOGY)

Keyword : Drying Herb Flavonoid Antioxidant Activity

MISS CHARIYA KWIANWONG : EFFECT OF DRYING USING A GREENHOUSE SOLAR DRYER ON THE QUALITY AND BIOACTIVE COMPOUNDS IN BLACK GALINGALE (*KAEMPFERIA PARVIFLORA* WALL. EX BAKER) THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR BUSARAKORN MAHAYOTHEE, Ph.D.

In this study, the effect of heat treatment on quality, bioactive compounds and antioxidant activities in black galingale rhizomes and drying temperatures and methods on quality, bioactive compounds and antioxidant activities in their slices with heat and unheat pretreatments before drying were studied. The heat treatment was done using an autoclave for heating at 80 °C for 1 h. For the study of temperature, a tray dryer at different temperatures (40, 50, 60 and 70 °C) was performed, while for the drying methods, three methods including a tray dryer, solar dryer and sun drying were used. The result showed that heat treatment of black galingale significantly affected the color, moisture content, 5,7-dimethoxyflavone (5,7-DMF) and antioxidant activity in the rhizome, the heated slices had dark purple color and 5,7-DMF and antioxidant activity were increased. The drying of unheated slices at 70 °C showed the highest drying rate with a drying time 6 h and heated sample slices dried at 40 °C had lower drying rate with a drying time 46 h. Initial moisture contents of sample slices were 73.11-79.67% and the final moisture content was less than 10%. Drying time of the unheated slices using a solar dryer was 32 h, while the drying time of heated slices by sun drying was 74 h. Color of all unheated dried samples for different temperatures had low intensity of purple while those heated dried slices had dark-blue purple. The unheated dried slices obtain from sun drying gave the light brown color in contrast to heated dried slices using a solar dryer, the color remained purple. In addition, drying temperatures and drying methods showed significantly influenced on 5,7-DMF. Both unheated and heated slices dried at 70 °C gave the highest 5,7-DMF with value of $1,778.79 \pm 60.38$ and $1,799.14 \pm 34.75$ mg/100 g db., respectively. Considering the % change of 5,7-DMF, it was found that drying of unheated at 70 °C gave the highest of % change with the result of $407.88 \pm 88.93\%$, while the unheated dried slices from sun drying

showed the lowest 5,7-DMF with $1,181.73 \pm 32.87$ mg/100 g db, the unheated dried slices from a solar dryer gave the highest % change of 5,7-DMF with $231.04 \pm 11.38\%$. Moreover, temperatures and drying methods had significantly affected ($p \leq 0.05$) antioxidation activities. Heated dried slices had the higher antioxidant activities than the unheated dried slices. The recommended drying condition for drying black galingale slices with a thickness of 0.5 cm is drying the heated slices at 70 °C using a tray dryer because it gave the dark purple, the highest of 5,7-DMF, high antioxidation activity and shorter drying time. However, the use of a tray dryer has the electric cost when compared to a greenhouse solar dryer which can also be used to dry the heated slices and gave the dark purple and the amount of 5,7-DMF and antioxidant activity in heated dried slices was close to the amount obtained from drying temperature at 70 °C. Therefore, using a greenhouse solar dryer is suggested for drying heated slices as well.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ต้องกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราการณ์ มหาโยธี ผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาที่ดี แนวความคิดในการทำงานวิจัย ตลอดจนตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรทุนวิจัย จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2558 ชื่อโครงการ “ศึกษาพัฒนาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกสำหรับอบแห้งสมุนไพร” ผ่านมหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรุ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำและความกรุณาในการตรวจสอบ แกไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สืบพงษ์ กอวชิรพันธ์ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ศราวุธ ภูไพจิตรกุล ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ แนวทางการทำวิจัย และความรู้ที่ดี สำหรับการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และงานธุรการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

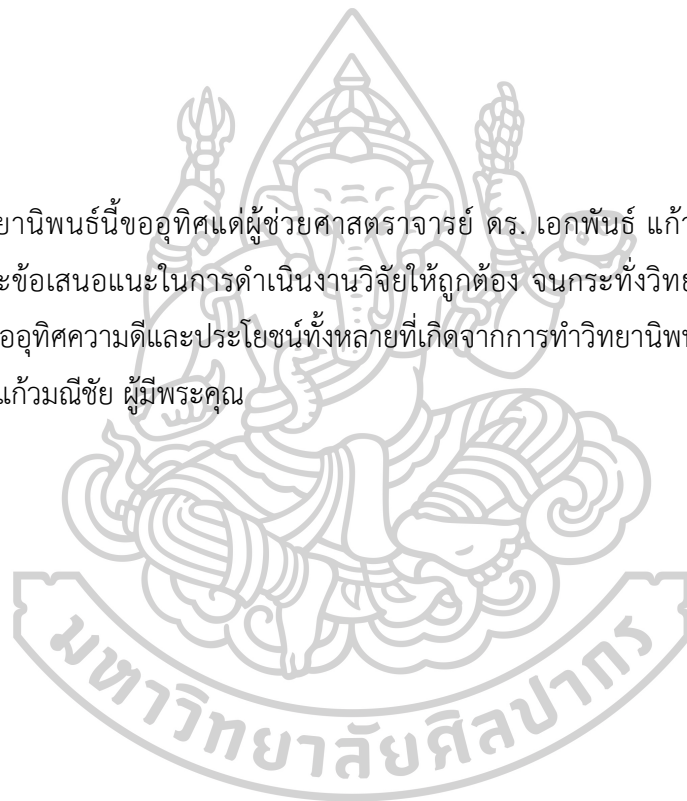
ขอขอบคุณ คุณรัชกร ว่องวิทย์ศิริพร ผู้เพาะปลูกกระชายดำวัดตุติบ ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทำแห้งกระชายดำ และเป็นแหล่งของวัดตุติบ ตลอดจนการส่งวัตถุดิบมายังห้องปฏิบัติการงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวิฑูรย์ ยวงสะอาด กองยาแพทย์แผนไทย ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณนางสาวทิพารัตน์ ธรรมสละ นางสาวรติพร เอกตาแสง และเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ กำลังใจและในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้โอกาส ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาเล่าเรียน จนกระทั่งการทำงานวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

วิทยานิพนธ์นี้ขออุทิศแด่ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ผู้ล่วงลับ สำหรับ
คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยให้ถูกต้อง จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง
ด้วยดี ผู้วิจัยขออุทิศความดีและประโยชน์ทั้งหลายที่เกิดจากการทำวิทยานิพนธ์นี้แด่ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร. เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ผู้มีพระคุณ



จริญญา เกวียนวงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ต
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	20
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	20
1.2 วัตถุประสงค์.....	22
1.3 สมมติฐาน.....	22
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	23
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร.....	25
2.1 กระจายตัว.....	25
2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของกระจายตัว.....	26
2.1.2 ลักษณะทางจุลภาคของเหง้ากระจายตัว.....	28
2.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระจายตัว.....	28
2.2.1 สารประกอบในกลุ่มโพลีเมตทอกซีฟลาโวน (polymethoxyflavones, PMFs).....	28
2.2.2 สมบัติทางยา.....	33
2.2.3 เสถียรภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระจายตัว.....	34
2.2.4 สารประกอบฟีนอลและความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในกระจายตัว... ..	34
2.2.5 แอนโทไซยานินส์และความคงตัว.....	36

2.3	อิทธิพลของกระบวนการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในพืช	37
2.4	การทำแห้ง (Drying)	38
2.4.1	การทำแห้งด้วยการตากแดด (Sun drying)	38
2.4.2	ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Greenhouse solar dryer).....	39
2.4.3	เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray dryer).....	42
2.5	จลนพลศาสตร์การทำแห้ง (Drying kinetic)	43
2.6	อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพของพืชสมุนไพรและผลไม้ต่างๆ	46
2.6.1	อิทธิพลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลและ ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่น	46
2.6.2	อิทธิพลของกระบวนการให้ความร้อนร่วมกับการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่น.....	47
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	50
3.1	วัตถุประสงค์.....	50
3.2	สารเคมี	51
3.3	อุปกรณ์และเครื่องมือ	52
3.4	วิธีการทดลอง.....	54
3.4.1	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเหง้ากระชายดำ.....	54
3.4.2	การเตรียมเหง้ากระชายดำ.....	54
3.4.3	การศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้า กระชายดำ	55
3.4.4	การเตรียมชิ้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง.....	60
3.4.5	การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดต่อ จลนพลศาสตร์การทำแห้งของชิ้นกระชายดำ.....	61
3.4.6	การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อ จลนพลศาสตร์การทำแห้งของชิ้นกระชายดำ.....	62

3.4.7 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดต่อคุณภาพ... 63	63
และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ..... 63	63
3.4.8 การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อ	
คุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ..... 64	64
3.4.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ..... 64	64
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... 66	66
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเหง้ากระชายดำ..... 66	66
4.2 ผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้ากระชายดำ..... 66	66
4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ..... 66	66
4.2.2 คุณสมบัติทางเคมี..... 69	69
4.4 ผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อจลนพลศาสตร์	
การทำแห้งของขึ้นกระชายดำ..... 77	77
4.5 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพ และสารออก	
ฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ..... 83	83
4.5.1 ลักษณะปรากฏและค่าสี..... 83	83
4.5.2 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้..... 87	87
4.5.3 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone (5,7-DMF)..... 89	89
4.5.4 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่น..... 91	91
4.6 ผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อคุณภาพและสาร	
ออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ..... 95	95
4.6.1 ลักษณะปรากฏและค่าสี..... 95	95
4.6.2 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้..... 99	99
4.6.3 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone (5,7-DMF)..... 101	101
4.6.4 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่น..... 103	103
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 105	105

ภาคผนวก.....	107
ภาคผนวก ก.....	108
ภาคผนวก ข.....	110
ภาคผนวก ค.....	121
ภาคผนวก ง.....	131
รายการอ้างอิง.....	135
ประวัติผู้เขียน.....	141



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ชนิดของสารประกอบกลุ่ม polymethoxyflavones ที่พบในกระชายดำ	30
ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบกลุ่ม polymethoxyflavones ที่พบในกระชายดำ	31
ตารางที่ 3 สมบัติทางยาของสารสกัดกระชายดำ	33
ตารางที่ 4 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ	41
ตารางที่ 5 รายละเอียดการซื้อเหง้ากระชายดำ สำหรับแต่ละชุดการทดลอง.....	50
ตารางที่ 6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การทำแห้งของชิ้นกระชายดำ	62
ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพของเหง้ากระชายดำที่ใช้ในการศึกษา (n=100).....	66
ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์คุณภาพด้านสีของชิ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ.....	68
ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมีของชิ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ.....	70
ตารางที่ 10 ค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการทำแห้งชิ้นกระชายดำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	74
ตารางที่ 11 พารามิเตอร์คุณภาพด้านสีของชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	85
ตารางที่ 12 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ.....	88
ตารางที่ 13 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่ทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด.....	91
ตารางที่ 14 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยวิธี DPPH.....	93

ตารางที่ 15 ปริมาณความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยวิธี FRAP	94
ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์คุณภาพด้านสีของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งและหลังการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	97
ตารางที่ 17 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งด้วยการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	100
ตารางที่ 18 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่ทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	102
ตารางที่ 19 ปริมาณความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์วิธี DPPH	103
ตารางที่ 20 ปริมาณความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์วิธี FRAP	104
ตารางที่ 21 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ที่ความเข้มข้นต่างๆ	113
ตารางที่ 22 สภาวะที่ใช้งานสำหรับเครื่อง HPLC.....	114
ตารางที่ 23 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้นต่างๆ	116
ตารางที่ 24 การเตรียมสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต มีความเข้มข้นต่างๆ	119

สารบัญญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ต้นกระชายดำ (ก) เหง้ากระชายดำ (ข).....	25
ภาพที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ก) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (ข) ในเหง้ากระชายดำที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน	27
ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของเหง้ากระชายดำ (ก) และผงกระชายดำ (ข)	28
ภาพที่ 4 โครงสร้างพื้นฐานของสารในกลุ่ม polymethoxyflavone.....	29
ภาพที่ 5 การคงตัวต่อความร้อนของผงกระชายดำ	34
ภาพที่ 6 kaemperferiaoside A (ก) และ kaemperferiaoside B (ข).....	35
ภาพที่ 7 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากกระชายดำที่ความเข้มข้นต่างๆ	35
ภาพที่ 8 การทำแห้งกระชายดำด้วยวิธีการตากแดด.....	38
ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	39
ภาพที่ 10 ปริมาณความชื้นของพริกแต่ละตำแหน่งภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	40
ภาพที่ 11 ปริมาณความชื้นของกล้วยแต่ละตำแหน่งภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	40
ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด.....	42
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นของพริกปาปริก้าที่ไม่ผ่านและผ่านการ ลวกก่อนการนำมาทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวโดยใช้สมการทำนายพฤติกรรมการทำแห้งด้วยสมการ Newton	45
ภาพที่ 14 ความแข็งของพื้นผิวระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการลวกที่ระยะเวลาต่างๆ กับตัวอย่างที่ผ่านการลวกที่ระยะเวลาต่างๆและนำไปอบแห้งจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 8.0 (ฐานแห้ง).....	45
ภาพที่ 15 การวัดขนาดเหง้ากระชายดำ	54
ภาพที่ 16 ขั้นตอนการเตรียมเหง้ากระชายดำ.....	54
ภาพที่ 17 อุณหภูมิในเครื่อง autoclave ระหว่างการให้ความร้อนเหง้ากระชายดำ	55

ภาพที่ 18 การวัดขนาดของชั้นกระชайд้า.....	56
ภาพที่ 19 การเรียงตัวอย่างชั้นกระชайд้าสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและชั้นกระชайд้าที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาคที่ใช้ในการศึกษา.....	61
ภาพที่ 20 การทำแห้งชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) เปรียบเทียบกับการตากแดด (ข).....	63
ภาพที่ 21 ลักษณะปรากฏของชั้นกระชайд้าสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข).....	67
ภาพที่ 22 อัตราการทำแห้งของชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่านการให้ความร้อน (ข) จากการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาคที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส.....	72
ภาพที่ 23 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่านการให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการ Newton, Page และ Modified Page.....	75
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ k ของการทำแห้งชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สมการ Page	76
ภาพที่ 25 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 2	80
ภาพที่ 26 ความเข้มข้นสีอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 2	81
ภาพที่ 27 กราฟการทำแห้งของชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 2	82
ภาพที่ 28 อัตราการทำแห้งของชั้นกระชайд้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 2	83

ภาพที่ 29 ลักษณะปรากฏขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อน และหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ 84

ภาพที่ 30 ผลของการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อค่า ΔE ของขึ้นกระชายดำอบแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน 86

ภาพที่ 31 ตัวอย่างโครมาโตแกรม HPLC ของสารมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone และกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่น 260 nm 89

ภาพที่ 32 ขึ้นกระชายดำอบแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และ..... 96

ภาพที่ 33 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ ต่อค่า ΔE ของขึ้นกระชายดำอบแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน 98

ภาพที่ 34 กราฟมาตรฐาน 5,7 dimethoxyflavone..... 114

ภาพที่ 35 โครมาโตแกรมของ 5,7-dimethoxyflavone 115

ภาพที่ 36 กราฟมาตรฐานสารละลาย Trolox..... 117

ภาพที่ 37 กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานเพอร์ร็อกซัลเฟต..... 119

ภาพที่ 38 กราฟการทำแห้งของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 1..... 122

ภาพที่ 39 กราฟการทำแห้งของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 2..... 123

ภาพที่ 40 กราฟการทำแห้งของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 1..... 124

ภาพที่ 41 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 1 125

ภาพที่ 42 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกกระบอบอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน
ก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 2 126

ภาพที่ 43 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกกระบอบอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน
ก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 1 127

ภาพที่ 44 ความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่าน
การให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 1 128

ภาพที่ 45 ความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่าน
การให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 2 129

ภาพที่ 46 ความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่าน
การให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่..... 130

ภาพที่ 47 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่าน
การให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบ
ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการ Newton, Page และ Modified Page..... 132

ภาพที่ 48 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่าน
การให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบ
ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการ Newton, Page และ Modified Page..... 133

ภาพที่ 49 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่าน
การให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบ
ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการ Newton, Page และ Modified Page..... 134

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กระชายดำ (*Kaempferia parviflora*) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า black galangale จัดเป็นหนึ่งในสี่ชนิดของสมุนไพรไทยที่กระทรวงสาธารณสุขประกาศให้เป็น โพรดักส์ แชมเปียน (product champion) และจัดให้มีการส่งเสริมการปลูกเพื่อใช้และจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ (อัญชลี จุฑะพุทธิ, 2556) จากข้อมูลทางสถิติของกรมส่งเสริมการเกษตร (2562) พบว่า ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีผลผลิตกระชายดำทั้งสิ้น 715 ตัน จากพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 265 ไร่ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 39 ล้านบาท แหล่งเพาะปลูกกระชายดำที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในพื้นที่ภูเขาสูงของภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 630 เมตรได้แก่จังหวัดเพชรบูรณ์ เลย พิษณุโลก น่าน และเชียงใหม่ เป็นต้น (เต็ม, 2544)

ปัจจุบันมีการนำเหง้ากระชายดำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กระชายดำแห้ง น้ำกระชายดำ ชากระชายดำ สารสกัดจากกระชายดำ และแคปซูลกระชายดำ เป็นต้น กระชายดำมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีส่วนช่วยในการต้านการอักเสบ (Sae-wong และคณะ, 2009) ต้านการออกซิเดชัน (Vichitphan และคณะ, 2007) และต้านการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Yenjai และคณะ, 2007) อีกทั้งยังมีสรรพคุณเป็นยาอายุวัฒนะ และบำรุงสมรรถภาพทางเพศในเพศชาย (Pitakpawasutthi และคณะ, 2018) สารประกอบฟลาโวนอยด์ที่พบมากในกระชายดำได้แก่ 5,7-dimethoxyflavone พบในปริมาณร้อยละ 8.49 (ฐานแห้ง) 3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone ร้อยละ 7.00 (ฐานแห้ง) และ 5,7,4'-trimethoxyflavone ร้อยละ 6.90 (ฐานแห้ง) (Yorsin และคณะ, 2014) นอกจากนี้กระชายดำยังมีองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลได้แก่กรดแกลลิก (gallic acid) อะพิจินิน (apigenin) แทนเจีรีทิน (tangeretin) (Lee และคณะ, 2018) และสารประกอบแอนโทไซยานินส์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงในเนื้อของเหง้ากระชายดำ และมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน (Horigome และคณะ, 2014) อีกทั้งระดับความเข้มข้นของสีม่วงในกระชายดำยังถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคาโดยพิจารณาด้วยสายตา เหง้ากระชายดำที่มีสีม่วงเข้มจะมีราคาสูงกว่าเหง้าที่มีเนื้อสีม่วงอ่อน (เสริมสกุล และเชวง, 2547) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีและฤทธิ์ต้านการออกซิเดชันในเหง้ากระชายดำจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ รัมเกล้า น้ำจวง บ่อเหมื่อนน้อย-2 และเข็กน้อย-2 ซึ่งแต่ละสายพันธุ์มีความเข้มของสีม่วงแตกต่างกัน พบว่า กระชายดำที่มีเนื้อเหง้าสีม่วงเข้มที่สุด มีร้อยละการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันใน

สมองหนูสูงกว่าสายพันธุ์ที่มีสีม่วงอ่อนถึง 1.5 เท่า คิดเป็นร้อยละ 38.70 (เสริมสกุล และไชยยง 2547)

เนื่องจากกระชายดำเป็นสมุนไพรที่ให้ผลผลิตปีละครั้ง จึงมักถูกนำมาทำแห้งจนกระทั่งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 (มาตรฐานของสมุนไพรในตำรามาตรฐานยาสมุนไพร, 2552) เพื่อให้สามารถเก็บไว้ขายได้ตลอดปี และสะดวกต่อการนำมาแปรรูปเป็นกระชายดำผงหรือสารสกัด ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือวิธีการตากแดด เกษตรกรจะนำเหง้ากระชายดำไปนึ่งให้ความร้อน (steaming) เพื่อให้สีเนื้อของเหง้ากระชายดำมีสีม่วงเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนจะไปทำลายเซลล์ทำให้แอนโทไซยานินส์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงนั้นถูกปลดปล่อยออกมา (Yang และ Gadi, 2008) จากนั้นจึงหันให้มีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการระเหยน้ำและลดระยะเวลาในการทำแห้ง แล้วนำไปตากแดดเป็นเวลา 5 วัน

อย่างไรก็ตามแสงและอุณหภูมิอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำแห้ง He และคณะ (2015) ได้ศึกษาผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดจากมันฝรั่งหวานสีม่วงพบว่าสีม่วงของสารสกัดสลายตัวร้อยละ 30 หลังจากเก็บภายใต้แสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรเป็นระยะเวลา 4 วัน โดยการสลายตัวของสีม่วงมีความสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินส์ Oryza (2012) ได้ศึกษาความเสถียรต่อความร้อนของผงกระชายดำโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดไม่ลดลงภายหลังการให้ความร้อน แสดงให้เห็นว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผงกระชายดำมีความเสถียรต่อความร้อนสูง นอกจากนี้การทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดใช้ระยะเวลานาน และมีโอกาสปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ฝุ่นละออง และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน จึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกในการทำแห้งสมุนไพร แต่ยังไม่มียานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของกระชายดำภายหลังการทำแห้งด้วยการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมต่อคุณภาพด้านสี ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ผ่านการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบด้วยการให้ความร้อนโดยใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี สารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการนำไปทำแห้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเตรียมวัตถุดิบที่ผ่านการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบลาดต่อพฤติกรรมการทำแห้ง

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบลาดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำ

1.2.4 เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเตรียมวัตถุดิบที่ผ่านการให้ความร้อนและการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกต่อพฤติกรรมการทำแห้ง สี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำ

1.3 สมมติฐาน

1.3.1 การให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยเครื่อง autoclave น่าจะส่งผลให้สีม่วงของกระชายดำนั้นมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนจะไปทำลายเซลล์ทำให้แอนโทไซยานินส์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงนั้นถูกปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังน่าจะส่งผลให้สารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ จึงน่าจะทำให้การสกัดสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ได้มากยิ่งขึ้น

1.3.2 การให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยเครื่อง autoclave นั้นความร้อนจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เกิดเจลาตินไนซ์เซชันของแป้ง เนื่องจากกระชายดำมีแป้งเป็นองค์ประกอบ จึงน่าจะส่งผลให้อัตราการทำแห้งของกระชายดำในช่วงแรกนั้นมีอัตราการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วและช้าลงในตอนท้ายของการทำแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

1.3.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่น่าจะส่งผลต่อสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน เนื่องจากสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีเสถียรภาพดีต่อความร้อน

1.3.4 การทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกจะมีอัตราการทำให้แห้งที่เร็วกว่าการตากแดดเนื่องจากภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก นั้นมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการตากแดด และน่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกระชายดำ เนื่องจากสีม่วงจากกระชายดำเป็นสารประกอบแอนโทไซยานินส์ซึ่งเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน แสง และ ออกซิเจน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 กระชายดำที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ใช้กระชายดำที่ปลูกที่อำเภอนาแห่ง จังหวัดเลยที่ระดับความสูง 900 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 8 เดือน

1.4.2 การศึกษาการเตรียมวัตถุดิบด้วยการให้ความร้อน ในงานวิจัยนี้ใช้การให้ความร้อนด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อที่สภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยสภาวะที่ใช้ในการให้ความร้อนนั้นพิจารณาจากสีของเนื้อกระชายดำที่มีลักษณะใกล้เคียงกับที่ผลิตโดยวิสาหกิจชุมชนสมุนไพรฐานภูเลยที่หนึ่งด้วยการใช้เครื่องนึ่ง

1.4.3 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (tray dryer)

1.4.4 วิธีการทำแห้งที่ศึกษาได้แก่เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (tray dryer) ตากแดด และ การทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (greenhouse solar dryer) ทำแห้งจนกระทั่งปริมาณความชื้นของชิ้นกระชายดำมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักตาม (มาตรฐานของสมุนไพรในตำรามาตรฐานยาสมุนไพร, 2552)

1.4.5 ในงานวิจัยนี้ศึกษาการทำแห้งต่อพฤติกรรมการทำแห้ง (drying curve) ของกระชายดำ และคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ค่าสี ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการต้านออกซิเดชั่น

1.4.6 การสกัดสาร 5,7-dimethoxyflavone ใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) รายงานผลเป็นค่ามิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ดัดแปลงจาก (Thao และคณะ, 2016)

1.4.7 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่นใช้วิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ดัดแปลงจาก (Brand-Williams และคณะ, 1995) รายงานผลเป็น ไมโครโมลของ trolox ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ หรือ

FRAP assay ซึ่งรายงานผลเป็นค่าไมโครโมลของเฟอร์รัสซัลเฟตต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ดัดแปลง
จาก (Benzie และ Strain, 1996)

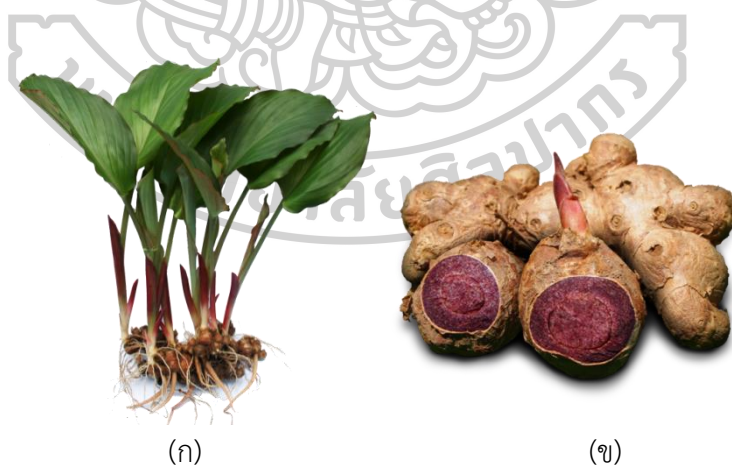


บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 กระชายดำ

กระชายดำ (*Kaempferia paviflora*) เป็นสมุนไพรที่อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae มีถิ่นกำเนิดในประเทศเขตร้อนบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งในประเทศไทยจะพบได้มากในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถูกขนานนามว่าเป็นโสมไทยมีสรรพคุณ บำรุงกำลัง (ประเชิญ และสุเทพ, 2542) ซึ่งถูกใช้เป็นยารักษาในแพทย์แผนไทย สำหรับรักษาโรคต่างๆเช่นโรคหัวใจ โรคเบาหวาน ต้านจุลินทรีย์ ด้านการอักเสบเป็นต้น (Mekjaruskul และ Sripanidkulchai, 2012) พันธุ์กระชายดำแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มสายพันธุ์ใบแดง มีสีเนื้อในเหง้าสีม่วงเข้ม และกลุ่มสายพันธุ์ใบเขียว สีเนื้อในเหง้าสีม่วงจาง ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้รับรองขึ้นทะเบียนพันธุ์กระชายดำไว้ 2 พันธุ์ได้แก่พันธุ์ภูเรือ-10 สายพันธุ์ใบแดง และพันธุ์ภูเรือ-12 สายพันธุ์ใบเขียว โดยพันธุ์ภูเรือ-10 (สายพันธุ์ใบแดง) เป็นสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันสูง และเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมาก (เสริมสกุล และไชยยง, 2547) แหล่งที่นิยมเพาะปลูกได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ เลย พิษณุโลก น่าน เชียงใหม่ เป็นต้น (เต็ม, 2544) โดยในปี พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้คิดเป็น 265 ไร่ มีผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้คิดเป็น 715 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562) กระชายดำมีลักษณะและเหง้าดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ต้นกระชายดำ (ก) เหง้ากระชายดำ (ข)

ที่มา: Kasetinfo (2015)

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของกระชายดำ

ระดับความสูงของพื้นที่ กระชายดำจะเจริญเติบโตตามธรรมชาติบนภูเขา พื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 630 เมตรขึ้นไป (Putiyanan และคณะ, 2008, นฤมล และคณะ, 2549) ถ้านำไปปลูกในพื้นที่ราบจะทำให้ได้กระชายดำที่มีคุณภาพต่ำ สีในเหง้าซีดจาง โดยระดับความสูงของพื้นที่นั้นมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของพื้นที่ เช่นกระชายดำที่ปลูกในพื้นที่ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี จังหวัดจันทบุรีที่มีระดับความสูง 100 เมตรจากระดับน้ำทะเลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 29.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และกระชายดำที่ปลูกในพื้นที่ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิตเชียงราย จังหวัดเชียงราย (ดอยวาวี) ที่มีระดับความสูง 1,600 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 124.64 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (วิไลพร และสมุณา, 2550)

สายพันธุ์ กระชายดำกลุ่มพันธุ์ที่มีสีเนื้อในเหง้าสีเข้ม จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และความเป็นสารต้านออกซิเดชันสูงกว่ากลุ่มพันธุ์ที่มีสีเนื้อในเหง้าสีซีด (เสริมสกุล และเชวง, 2547)

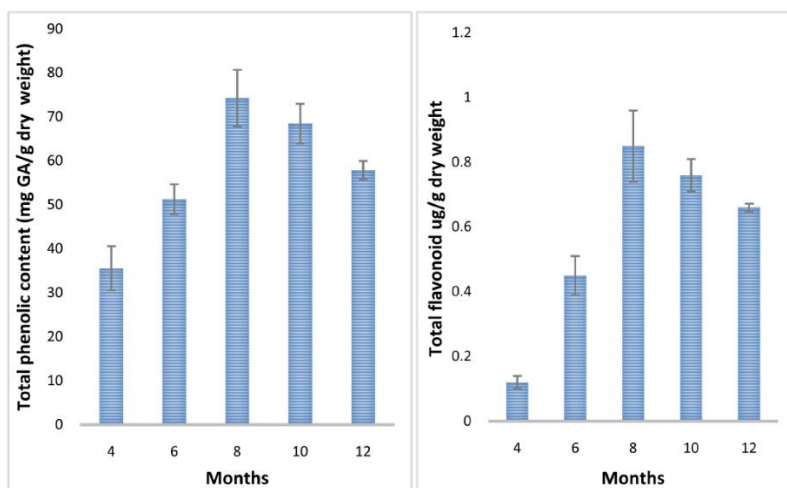
การพรางแสง เสริมสกุล (2552) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการพรางแสงต่อสารประกอบ ฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของเหง้ากระชายดำ โดยทำการปลูกในโรงเรือนที่คลุมหลังคาด้วยตาข่ายสีดำชนิดพรางแสงร้อยละ 50, 60 และ 70 เปรียบเทียบกับการปลูกกลางแจ้ง พบว่าระดับความเข้มของการพรางแสงที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อสารประกอบฟีนอลทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 88.63 ± 3.08 , 76.93 ± 3.47 , 76.01 ± 0.94 และ 66.14 ± 3.94 ตามลำดับ และมีร้อยละการยับยั้ง (IC_{50}) เท่ากับ 0.107 ± 0.01 , 0.090 ± 0.003 , 0.085 ± 0.004 และ 0.125 ± 0.006 ตามลำดับนอกจากนั้นการวัดค่าสีเนื้อในเหง้ากระชายดำ ด้วยระบบ $L^* a^* b^*$ พบว่าการพรางแสงร้อยละ 70 และ 60 มีค่าสี L^* เท่ากับ 33.09 และ 33.54 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการพรางแสงร้อยละ 50 และการปลูกกลางแจ้ง มีค่า L^* เท่ากับ 35.01 และ 36.10 มีค่า a^* เท่ากับ 14.08 และ 14.00 ซึ่งสูงกว่าการพรางแสงร้อยละ 50 และการปลูกกลางแจ้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ ขณะที่การพรางแสงร้อยละ 70 มีค่าสี b^* เท่ากับ -8.89 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกระดับ แสดงให้เห็นว่า การพรางแสงที่ร้อยละ 70 นั้น จะทำให้สีเนื้อในเหง้ากระชายดำมีสีม่วงเข้มที่สุด

Labrooy และคณะ (2016) ได้ศึกษาระดับการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์มาเลเซีย และสายพันธุ์ไทย โดยเปรียบเทียบระหว่างการไม่พรางแสง และการพรางแสงร้อยละ 30, 50 และ 70 ตามลำดับ พบว่าการพรางแสงที่ระดับร้อยละ 30 นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อการเจริญเติบโตของกระชายดำทั้งสองสายพันธุ์ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการพรางแสงอื่นๆ เนื่องจาก สารประกอบฟี

นอลทั้งหมด (total phenolic content) มีค่าเท่ากับ 11.87 ± 0.41 และ 10.86 ± 0.24 มิลลิกรัมกรด แกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid content) มีค่าเท่ากับ 4.86 ± 0.13 และ 3.77 ± 0.05 มิลลิกรัมรูทีนต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone เท่ากับ ร้อยละ 14.83 ± 0.06 และร้อยละ 12.67 ± 0.22 ในกระชายดำสายพันธุ์ มาเลเซีย และสายพันธุ์ไทย ตามลำดับ ดังนั้นระดับการพรางแสงที่เหมาะสมที่สุดคือการพรางแสงที่ ร้อยละ 30 เนื่องจากให้ผลผลิตและคุณภาพที่สูงขึ้นในกระชายดำ

ฤดูกาลเพาะปลูก อยู่ในระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม เมื่อกระชายดำมีอายุ ได้ 8 เดือน ใบและลำต้นจะเริ่มเหี่ยวแห้งและหลุดออกจากต้น ระยะเวลาจะเป็นระยะพักตัวของกระชายดำ เพราะจะทำให้กระชายดำมีโอกาสสะสมอาหารและตัวยาได้อย่างเต็มที่ ระยะเวลาจึงเป็นระยะที่เก็บเกี่ยวได้ ทำให้ได้กระชายดำที่มีคุณภาพดี (สถาบันวิจัยสมุนไพร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2552)

Rahman และคณะ (2018) พบว่ากระชายดำที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ มีค่าระหว่าง 35-74.3 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 0.1-0.85 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 2 (ก) และภาพที่ 2 (ข) กระชายดำที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 8 เดือนจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บเกี่ยวที่เวลาอื่นๆ



(ก)

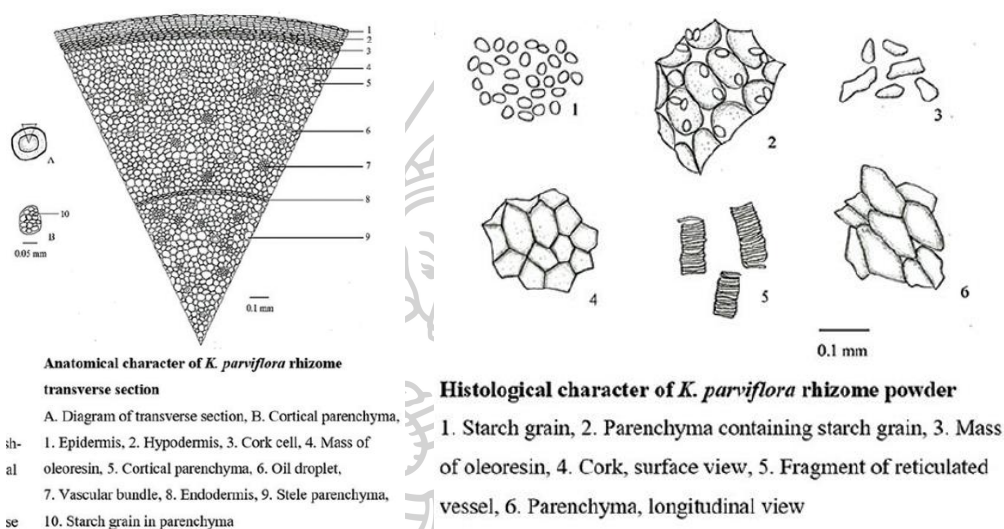
(ข)

ภาพที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ก) และปริมาณฟลาโวนอยด์ (ข) ในเหง้ากระชายดำที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน

ที่มา: Rahman และคณะ (2018)

2.1.2 ลักษณะทางจุลภาคของเหง้ากระชายดำ

ภาคตัดขวางเหง้ากระชายดำ (ภาพที่ 3 ก) และผงกระชายดำ (ภาพที่ 3 ข) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า ภายในเหง้ากระชายดำประกอบไปด้วย epidermis, hypodermis, cork cell, mass of oleoresin, cortical parenchyma, oil droplet, vascular bundle, endodermis, stele parenchyma และ starch grain ส่วนในผงกระชายดำประกอบไปด้วย starch grain parenchyma ที่บรรจุ starch grain, mass of oleoresin, cork surface view, fragment of reticulated vessel และ parenchyma longitudinal view



(ก)

(ข)

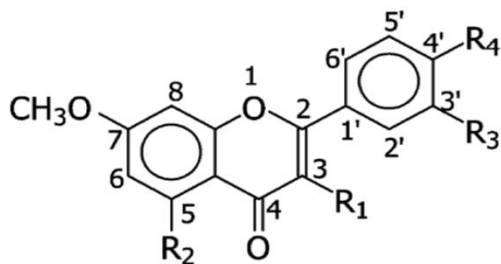
ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของเหง้ากระชายดำ (ก) และผงกระชายดำ (ข)
 ที่มา: Pitakpawasutthi และคณะ (2018)

2.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำ

2.2.1 สารประกอบในกลุ่มโพลีเมทอกซีฟลาโวน (polymethoxyflavones, PMFs)

กระชายดำมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญคือสารในกลุ่ม polymethoxyflavones ซึ่งอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ ได้แก่ 5,7-dimethoxyflavone, 5,7,4'-thimethoxyflavone, 3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone, 3,5,7,4'-tetramethoxyflavone, 5,7,3'4'-tetramethoxyflavone, 5-hydroxy-7-methoxyflavone, 5-hydroxy-3,7-dimethoxyflavone, 5-hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone, 5-hydroxy-3,7,4'-trimethoxyflavone, 3,5,7-trimethoxyflavone, 5-hydroxy-3,7,3',4'-tetramethoxyflavone โดยมีประมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 23.86-60.98 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone 21.68 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 5,7,4'-thimethoxyflavone 9.88

มีลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เป็นสารหลัก (Sutthanut และคณะ, 2007) ซึ่งสารสำคัญแต่ละตัวจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันที่ตำแหน่ง หมู่ R โดยจะมีการแทนที่ด้วย OCH_3 OH หรือ H ดังตารางที่ 1 และมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างพื้นฐานของสารในกลุ่ม polymethoxyflavone
ที่มา: Yenjai และคณะ (2004)



ตารางที่ 1 ชนิดของสารประกอบกลุ่ม polymethoxyflavones ที่พบในกระชายดำ

ลำดับที่	สารประกอบ	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
		3	5	3'	4'
1	5,7 -dimethoxyflavone	H	OCH ₃	H	H
2	5,7,4'-trimethoxyflavone	H	OCH ₃	H	OCH ₃
3	3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃
4	5-hydroxy-7-methoxyflavone	H	OH	H	H
5	5-hydroxy-3,7-dimethoxyflavone	OCH ₃	OH	H	H
6	5-hydroxy-3,7,4'-trimethoxyflavone	OCH ₃	OH	H	OCH ₃
7	5-hydroxy-3,7,3',4'-tetramethoxyflavone	OCH ₃	OH	OCH ₃	OCH ₃
8	4',5,7-trimethoxyflavone	H	OCH ₃	H	OCH ₃
9	5-hydroxy-7,4' - dimethoxyflavone	H	OH	H	OCH ₃
10	3,5,7-trimethoxyflavone	OCH ₃	OCH ₃	H	OCH ₃
11	3,5,7,4'-tetramethoxyflavone	OCH ₃	OCH ₃	H	OCH ₃
12	5,7,4'-trimethoxyflavone	H	OCH ₃	H	OCH ₃
13	5,7,3',4'-tetramethoxyflavone	H	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃

ที่มา: (Sutthanut และคณะ, 2007; Yenjai และคณะ, 2004)



มีงานวิจัยที่ศึกษาหาปริมาณสารประกอบกลุ่ม polymethoxyflavones ในกระชายดำ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบกลุ่ม polymethoxyflavones ที่พบในกระชายดำ

ชนิด	สารสกัด	วิธีวิเคราะห์	ปริมาณสาร	ที่มา
5,7-dimethoxyflavone	ethanol	HPLC	2,100 mg/100g db.	Mekjaruskul และคณะ (2012)
5,7,4'-trimethoxyflavone			3,106 mg/100g db.	
3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone			2,332 mg/g db.	
5,7-dimethoxyflavone	dichloromethane	HPLC	8,488 mg/100g db,	Yorsin และคณะ (2014)
5,7,4'-trimethoxyflavone			6,898 mg/100g db.	
3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone			7,003 mg/100g db.	
5,7-dimethoxyflavone	95% ethanol	TLC-densitometry	2,150 mg/100g db.	Pitakpawasutthi และคณะ (2018)
5,7-dimethoxyflavone		TLC- image	1,960 mg/100g db.	
5-hydroxy-3,7-dimethoxyflavone	ethanol	HPLC	200 mg/100g db.	(Yenjai และคณะ, 2004)
5-hydroxy-7-methoxyflavone			1,300 mg/100g db.	
5-hydroxy-3,7,4'-trimethoxyflavone			80 mg/100g db.	
5-hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone			300 mg/100g db.	
5-hydroxy-3,7,3',4'-tetramethoxyflavone			1,500 mg/100g db.	
3,5,7-trimethoxyflavone			140 mg/100g db.	
3,5,7,4'-tetramethoxyflavone			600 mg/100g db.	

ชนิด	สารสกัด	วิธีวิเคราะห์	ปริมาณสาร	ที่มา
5,7,4'-trimethoxyflavone			1,600 mg/100g db.	
5,7,3',4'-tetramethoxyflavone			1,010 mg/100g db.	
5,7-dimethoxyflavone	supercritical fluid	HPLC	8,200 mg/100g db.	Wongsrikaew และคณะ
5,7,4'-trimethoxyflavone	extracts (SFEs)		14,200 mg/100g db.	(2011)
5,7,3',4'-tetramethoxyflavone			9,800 mg/100g db.	
5-hydroxy-7-methoxyflavone			12,000 mg/100g db.	
5-hydroxy-3,7-dimethoxyflavone			14,000 mg/100g db.	
5-hydroxy-3,7,3',4'-tetramethoxyflavone			1,000 mg/100g db.	
3,5,7-trimethoxyflavone			4,6000 mg/100g db.	
3,5,7,4'-tetramethoxyflavone			2,400 mg/100g db.	
3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone			8,800 mg/100g db.	

2.2.2 สมบัติทางยา

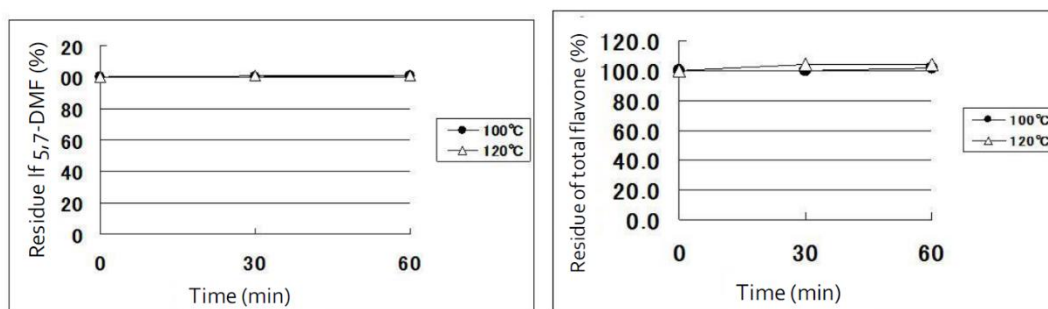
กระชายดำมีสรรพคุณในการรักษามีฤทธิ์ในการโรคต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติทางยาของสารสกัดกระชายดำ

ชนิด	ฤทธิ์ทางยา	ที่มา
5,7-dimethoxyflavone 5,7,4'-trimethoxyflavone 3,5,7-trimethoxyflavone 5-hydroxy-7-methoxyflavone 5-hydroxy-3, 7-methoxyflavone	รักษาโรคหัวใจวาย และมี ความสามารถ เป็นสารต้านออกซิเดชั่นเพื่อป้องกัน เนื้อหัวใจตายในหนู	Malakul และคณะ (2011)
3,5,7,4'-tetramethoxyflavone 5,7,4'-trimethoxyflavone 5-hydroxy-3,7,3',4'- tetramethoxyflavone	สามารถยับยั้งเซลล์ที่ทำให้เกิดมะเร็ง ลำไส้ใหญ่ได้	Hossain และคณะ (2012)
5,7-dimethoxyflavone	ด้านการอักเสบ จะไปยับยั้งการ สังเคราะห์ของ โพรสตาแกลนดินส์ (prostaglandins) ซึ่งเป็น สารประกอบประเภทไขมันซึ่งทำ หน้าที่เป็นสารตัวกลางที่ทำให้เกิด อาการปวดการอักเสบ	Panthong และคณะ (1994)
5-hydroxy-3,7,3',4'- tetramethoxyflavone 5-hydroxy-3,7,3',4'- tetramethoxyflavone 5-hydroxy-3,7,4'- trimethoxyflavone 5,7,4'-trimethoxyflavone 5,7,3',4'-tetramethoxyflavone	ต้านเชื้อ <i>Mycobacterium tuberoulois</i> H37Ra ต้านเชื้อรา <i>Candida albicans</i> ต้านเชื้อ <i>Plasmodium falciparum</i>	Yenjai และคณะ (2004)

2.2.3 เสถียรภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำ

Oryza (2012) ได้ศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในกระชายดำโดย การให้ความร้อนผงกระชายดำที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงนั้น พบว่า ปริมาณ 5,7 -dimethoxyflavone และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ไม่ลดลงหลังจากให้ความร้อนนาน 1 ชั่วโมง ดังภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าสารสำคัญในผงกระชายดำนั้นมีความคงตัวอย่างสูงต่อความร้อน ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร



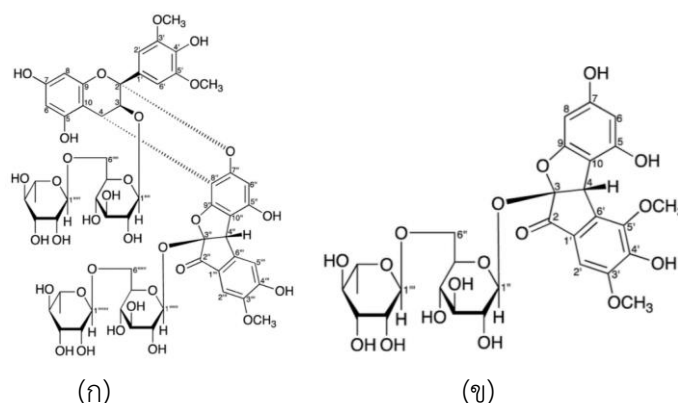
ภาพที่ 5 การคงตัวของความร้อนของผงกระชายดำ
ที่มา Oryza (2016)

2.2.4 สารประกอบฟีนอลและความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในกระชายดำ

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำประกอบด้วยสารประกอบฟีนอล และ ฟลาโวนอยด์ เป็นต้น ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ดังต่อไปนี้

Lee และคณะ (2018) ได้ศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลที่พบมากที่สุด ในกระชายดำ ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) อะพิจินิน (apigenin) และ แทนเจอรีน (tangerenic) ตามลำดับ มีปริมาณ 9.31 ± 1.27 , 2.37 ± 0.14 และ 2.15 ± 0.19 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง

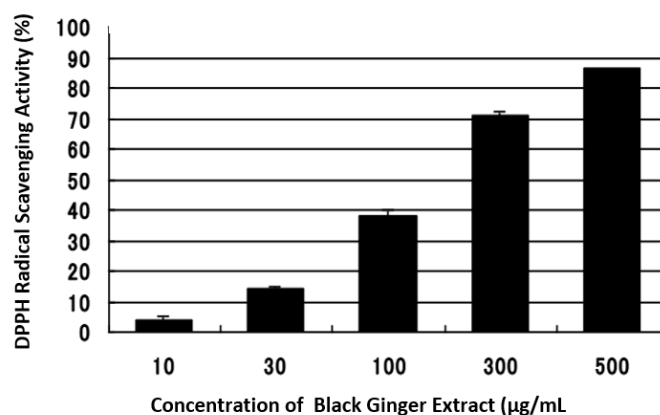
Chaipech และคณะ (2012) ได้แยกสารประกอบฟีนอลไกลโคไซด์ 2 ชนิด จากเหง้ากระชายดำ ได้แก่ kaempferiosides A และ B ซึ่งมีฤทธิ์ช่วยป้องกันตับจากการทำลายเซลล์ จากสารพิษ โดยมีสูตรโครงสร้าง แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 kaempferiaoside A (ก) และ kaempferiaoside B (ข)
ที่มา Chaipech และคณะ (2012)

บงอร และคณะ (2549) ได้ศึกษาชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดกระชายดำในการหาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่น พบว่า กระชายดที่สกัดด้วยเอทานอลนั้น มีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่นมากที่สุด โดยมีค่า $EC_{50} = 222.03$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดด้วยเอทานอลและน้ำ และเฮกเซน

Oryza (2016) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่นในสารสกัดกระชายดำที่มีความเข้มข้น 10-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นในสารสกัดกระชายดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกระชายดำ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่นในสารสกัดจากกระชายดำที่ความเข้มข้นต่างๆ
ที่มา Oryza (2016)

2.2.5 แอนโทไซยานินส์และความคงตัว

สีเนื้อภายในเหง้ากระชายดำมีสีม่วงจางถึงสีม่วงเข้ม เนื่องจากมีแอนโทไซยานินส์เป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วง (Horigome และคณะ, 2014) แอนโทไซยานินส์จะพบมากในส่วนของแควควโอ (Taiz, 1992) ซึ่งในกระชายดำจะพบแอนโทไซยานินส์ชนิด malvidin-3-rutinoside (Kato และคณะ, 2015) แอนโทไซยานินส์เป็นสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินส์

ปัจจัยหลักๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินส์ได้แก่ อุณหภูมิ แสง และออกซิเจน แสดงรายละเอียดดังนี้

1. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินส์ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินส์ (Rein, 2005)

Brownmiller และคณะ (2008) ได้ศึกษาผลของการอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตทุเล่บลูเบอร์รี่ พบว่าการลวกบลูเบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ร่วมกับกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์แช่เย็นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินส์ทั้งหมดลดลงร้อยละ 43 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด

2. แสง การสลายตัวของแอนโทไซยานินส์จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกับแสง โดยกลไกการสลายตัวของแอนโทไซยานินส์จะเกิดขึ้น โดยเฉพาะแอนโทไซยานินส์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งที่ C-5 จะสามารถเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเนื่องจากแสงได้มากกว่าแอนโทไซยานินส์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งที่ C-5 และเป็นตัวเร่งให้เกิดการสลายตัวของสารแอนโทไซยานินส์จากความร้อน และการเกิด photo-oxidation ของแอนโทไซยานินส์ได้เป็น chalcone (เป็นโครงสร้างที่ไม่มีสี) (Palakajornsak, 2004)

Morais (2002) ได้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการเก็บรักษาต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินส์ในผิวองุ่น โดยเก็บในสภาวะที่ไม่มีแสงและมีแสงเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 24, 32 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าในสภาวะการเก็บรักษาที่เหมือนกัน มีอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินส์เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสง

He และคณะ (2015) ได้ศึกษาผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดจากมันฝรั่งหวานสีม่วงพบว่าสีม่วงของสารสกัดสลายตัวร้อยละ 30 หลังจากเก็บภายใต้แสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรเป็นระยะเวลา 4 วัน โดยการสลายตัวของสีม่วงมีความสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินส์

3. ออกซิเจน ออกซิเจนมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน โดยมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น โดยที่โมเลกุลของออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินส์ในตำแหน่งที่ C-2 หรือที่มีหมู่ hydroxyl group ของ B-ring ได้เป็น chalcone (โครงสร้างไม่มีสี) (Palakajornsak, 2004)

Starr และ Francis (1968) ได้ศึกษาผลของออกซิเจนต่อการเสื่อมสลายตัวของแอนโทไซยานินส์ ใน cranberry ทำการศึกษาการเพิ่มระดับของ headspace oxygen 3 ระดับ ได้ได้แก่ 0 มิลลิลิตร เป็น 0.3 มิลลิลิตร และ 2.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 32 สัปดาห์ พบว่าสถานะที่มี headspace oxygen สูงทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินส์ลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มี headspace oxygen ต่ำ

2.3 อิทธิพลของกระบวนการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในพืช

กระบวนการให้ความร้อนนั้นเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในการป้องกันการเสื่อมสลายคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เช่น การต้ม การลวก การนึ่ง เป็นต้น การลวกเป็นกระบวนการที่ใช้กับผักและผลไม้โดยใช้อุณหภูมิสูง และระยะเวลาสั้น นอกจากนี้กระบวนการดังกล่าวจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแล้วยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (polyphenol oxidase, lipoxygenase, peroxidase) (Nielsen และคณะ, 2004) แต่การปรับปรุงเรื่องสี และกลิ่นรสโดยการลวกนั้นจะเป็นวิธีที่ดั้งเดิมที่ใช้การต้มในน้ำเดือดซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่แพงแต่จะส่งผลต่อการสารประกอบที่ละลายน้ำ จึงมีการใช้วิธีการนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่ไม่แพงและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมาทดแทนการลวก เนื่องจากจะยังคงรักษาแร่ธาตุ และสารประกอบที่ละลายน้ำไว้ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลวกในน้ำเดือด (Roy และคณะ, 2009)

Gawlik-Dziki (2008) ได้ศึกษาพบว่า การต้มบลูเบอร์รี่สด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงมีการใช้วิธีการนึ่งแทนการลวกในน้ำเดือด เพื่อป้องกันการสูญเสียสารสำคัญที่ละลายน้ำได้ โดยการนึ่งนั้นจะปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลได้มากกว่าการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Roy และคณะ, 2009)

Huang และคณะ (2006) ได้การศึกษาอิทธิพลของกระบวนการนึ่งต่อสารสำคัญในมันฝรั่ง ม่วงพบว่ากระบวนการนึ่งนั้นส่งผลให้มีปริมาณแอนโทไซยานินส์ สารประกอบฟีนอล และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

Patras และคณะ (2010) พบว่า ขั้นตอนของการลวกหรือมีการให้ความร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียส นั้น มีผลดีต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินส์ เช่น การลวก blueberry pulp ในการ

ผลิตน้ำผลไม้ นั่น ไม่มีการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินส์ เนื่องจากการลวกนั้นไปทำลายเอนไซม์ polyphenol oxidase จึงทำให้ยังสามารถคงแอนโทไซยานินส์ไว้ได้

He และคณะ (2015) พบว่า การนึ่ง purple sweet potato นั้นเป็นข้อดีในการคงสีของแอนโทไซยานินส์ไว้ เนื่องจาก เอนไซม์ glycosidase และ polyphenol oxidase นั้นเป็นเอนไซม์ที่มักพบในผักและผลไม้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้แอนโทไซยานินส์ไม่มีความคงตัว การนึ่งจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำให้ยังคงสีของแอนโทไซยานินส์ไว้ได้

2.4 การทำแห้ง (Drying)

การทำแห้ง (dehydration) เป็นกระบวนการแปรรูปและถนอมอาหารที่สำคัญโดยการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหาร และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, a_w) ด้วยการระเหยน้ำ การทอด หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหาร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา สะดวกในการจัดเก็บ ประหยัดในการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร การทำแห้งมีด้วยกันหลายวิธีเช่น การตากแดด เครื่องทำแห้งลมร้อนแบบต่างๆ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบถาด แบบอุโมงค์ ตู้อบลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย หรือใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซาลีดา บรมพิชัยชาติกุล (2555)

2.4.1 การทำแห้งด้วยการตากแดด (Sun drying)

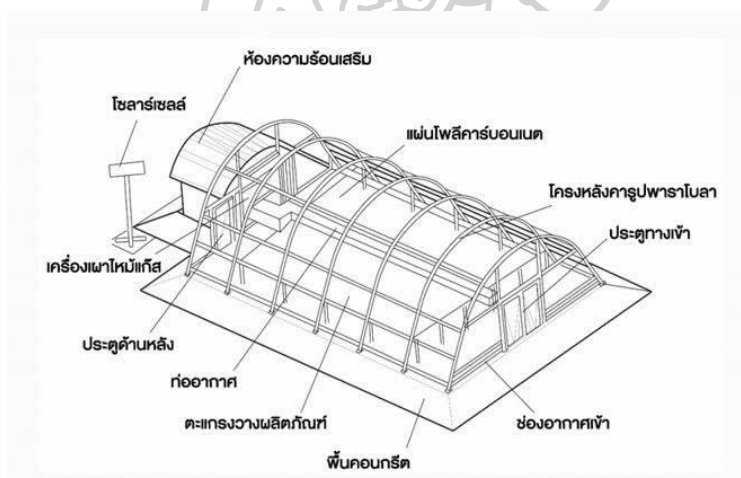
การตากแดดเป็นวิธีการอบแห้งอย่างง่ายที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar energy) โดยการนำความชื้นออกจากตัวอย่าง จนกระทั่งความชื้นเข้าสู่สมดุล ในประเทศไทยการทำแห้งกระชายดำจะใช้วิธีการตากแดด แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งวิธีการทำแห้งด้วยการตากแดดไม่เหมาะสมเนื่องจากมีปัญหาด้านการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง แมลง และเชื้อราในระหว่างการทำแห้ง นอกจากนี้ยังมีปัญหาฝนตก ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการผลิต (Surbkar, 2013)



ภาพที่ 8 การทำแห้งกระชายดำด้วยวิธีการตากแดด

2.4.2 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Greenhouse solar dryer)

ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีโครงสร้างจำลองสภาวะเรือนกระจก แสดงดังภาพที่ 9 ภาพที่ 9 โดยอากาศภายนอกจะเคลื่อนตัวเข้าทางช่องอากาศเข้า และเมื่อรังสีแสงอาทิตย์ส่องผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตที่มีการเคลือบสารป้องกันรังสียูวีไว้ด้านนอกแผ่น จึงทำให้รังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้าไปด้านในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่มีรังสีในช่วงของรังสียูวีตั้งแต่ 200-400 นาโนเมตร นอกจากนั้นแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้าไปด้านในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่สามารถสะท้อนออกมาภายนอกได้ ส่งผลให้ภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะรวมตัวกับอากาศที่เคลื่อนตัวเข้าไปด้านในกลายเป็นอากาศร้อน จึงทำให้ภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงกว่าภายนอก เป็นผลให้มีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่าการตากแดด เมื่อมีการทำแห้งเกิดขึ้น จะมีการระเหยตัวของความชื้น ความชื้นจะลอยตัวสูงขึ้นด้านบนของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และถูกดูดออกด้วยพัดลมด้านหลังระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งพัดลมจะทำงานด้วยแผงโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งให้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งระบบอบแห้งจะทำงานในลักษณะแบบนี้ตลอดช่วงของการทำแห้งผลิตภัณฑ์

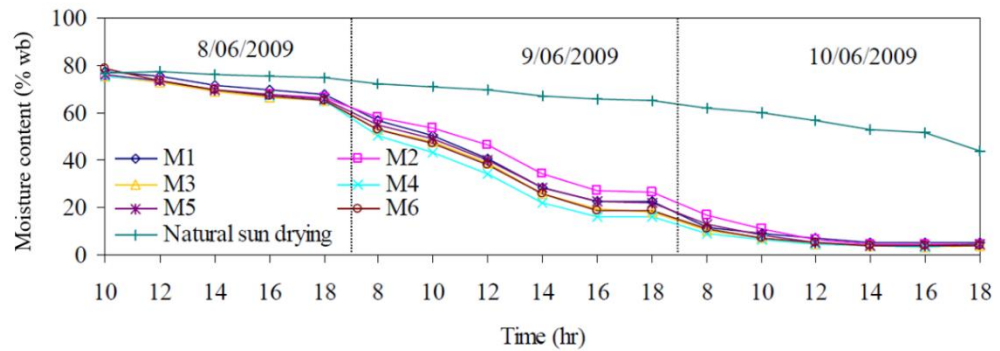


ภาพที่ 9 ส่วนประกอบของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

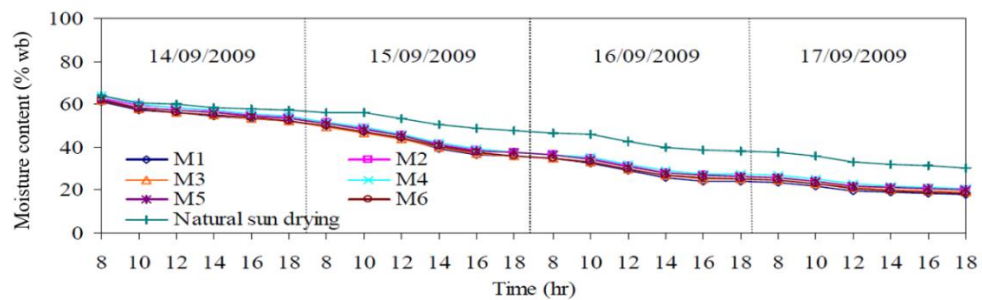
ที่มา: เสริม จันทร์ฉาย (2555)

Intawee และ Janjai (2011) ทดลองการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (ขนาด 7.50x20.00x3.70 เมตร) ในการทำแห้งพริกและกล้วย พบว่าสามารถทำแห้งพริกและกล้วย ได้ครั้งละ 500 และ 800 กิโลกรัม ตามลำดับ อุณหภูมิภายในระบบอบแห้งฯ อยู่ในช่วง 35-64 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งพริก และกล้วย 3 และ 4 วัน ตามลำดับ ทำ

แห้งจนกระทั่งพริก และกล้วยมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 และ 19 ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการทำแห้งให้สั้นลง เนื่องจากภายในระบบอบแห้งฯมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการตากแดด จึงมีอัตราการทำแห้งที่สูงกว่าการตากแดด แสดงดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ปริมาณความชื้นของพริกแต่ละตำแหน่งภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
เปรียบเทียบกับการตากแดด
ที่มา: Intawee และ Janjai (2011)



ภาพที่ 11 ปริมาณความชื้นของกล้วยแต่ละตำแหน่งภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
เปรียบเทียบกับการตากแดด
ที่มา: Intawee และ Janjai (2011)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีการศึกษาการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4

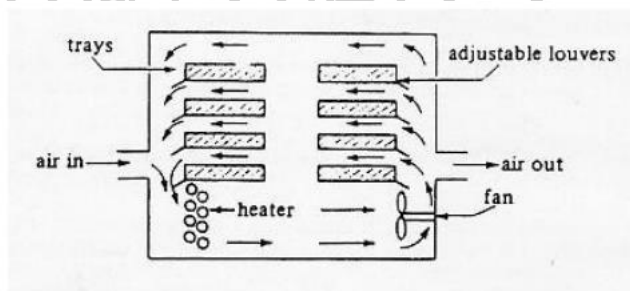
ตารางที่ 4 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ผลิตภัณ์ต่างๆ

ขนาดของระบบอบแห้งฯ (เมตร)	กำลังการผลิต (กิโลกรัม)	ผลิตภัณฑ์	ผลการทดลอง	ที่มา
5.50x8.20x3.25	100	เนื้ออินทนิล	อุณหภูมิภายในระบบอบแห้งฯ นี้ อยู่ในช่วง 39-65 ใช้ระยะเวลาในการทำแห้ง 3 วัน ในขณะที่การตากแดดใช้ระยะเวลาในการทำแห้ง 5-6 วัน	Tohsing และคณะ (2018)
9.00x12.40x3.45	730	ถั่วแมคคาดาเมีย	อุณหภูมิภายในระบบอบแห้งฯ นี้ อยู่ในช่วง 30-65 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งถั่วแมคคาดาเมียเป็นเวลา 5 วัน	Janjai และคณะ (2014)
8.00x20.00x3.50 + ระบบแก๊สเสริม ขนาด 100 กิโลวัตต์	1,000	มะเขือเทศแช่อบแห้ง	อุณหภูมิภายในระบบอบแห้งฯ อยู่ในช่วง 35-65 องศาเซลเซียส และสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งได้เร็วกว่า 2-3 วันเมื่อเทียบกับการตากแดด	Janjai (2012)

สุกัญญา (2559) ได้การศึกษาการทำแห้งด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 3 วิธี ได้แก่ การตากแดด ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม และแบบเรือนกระจก พบว่าเวลาที่ใช้ในการทำแห้งข้าวหอมนิลยางงอกด้วยการตากแดด เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม และแบบเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 5, 4 และ 4.5 ชั่วโมงตามลำดับ โดยวิธีที่ใช้ในการทำแห้งทั้งสามวิธี ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อปริมาณกาบาของข้าวหอมนิลยางงอกหลังการทำแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ตากในที่ร่ม แต่วิธีที่ใช้ในการทำแห้งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ต่อการลดลงปริมาณแอนโทไซยานินส์ และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ตากในที่ร่ม โดยพบว่าการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมส่งผลให้ค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าต่ำที่สุด และมีปริมาณข้าวหักสูงกว่ามาตรฐานกำหนด

2.4.3 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)

เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดเป็นการทำแห้งโดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการให้ความร้อน และระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มจากอากาศจากด้านนอกจะเข้าทางช่องลมเข้า ผ่านพัดลมไปยังเครื่องทำความร้อนกลายเป็นอากาศร้อนเครื่องตัวผ่านไปยังผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่วางอยู่บนถาดบรรจุอาหาร จากนั้นจะเกิดกระบวนการทำแห้งเกิดขึ้น โดยการเกิดการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างอากาศร้อนและผลิตภัณฑ์ เกิดการระเหยของน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ เป็นอากาศชื้น จากนั้นอากาศชื้นจะเคลื่อนที่ออกไปทางช่องลมออก แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด

ที่มา: (Mujumdar, 2000)

2.5 จลนพลศาสตร์การทำแห้ง (Drying kinetic)

จลนพลศาสตร์การทำแห้งเป็นการทำนายพฤติกรรมกรรมการทำแห้งของตัวอย่าง โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการที่เรียกว่า logarithmic model เพื่อใช้ในการหาปริมาณความชื้น และระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง โดยรูปแบบของสมการอย่างง่ายที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (1)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M คือ ความชื้นของวัสดุ (ร้อยละฐานแห้ง)

M_e คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (ร้อยละฐานแห้ง)

M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (ร้อยละฐานแห้ง)

นอกจากสมการอย่างง่าย (1) ที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมกรรมการทำแห้งของวัสดุแล้ว ยังมีสมการทำแห้งชั้นบางแบบเอ็มพิริคัล (empirical equations) เพื่อใช้ในการอธิบายพฤติกรรมกรรมการทำแห้งของวัสดุให้มีความเหมาะสมกับวัสดุได้ดียิ่งขึ้น เช่น สมการ Newton, Page, Modified Page, Logarithmic, Two term, Handerson and Pabis และ Modified Handerson and Pabis

ในการวิเคราะห์ที่ใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมของสมการที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมกรรมการทำแห้งของวัสดุนั้น จะพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) โดยค่า R^2 ควรมีค่าเข้าใกล้ 1.0 และค่า RMSE ควรมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าสมการที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมกรรมการทำแห้งวัสดุนั้น มีความแม่นยำในการทำนาย เพื่อนำไปใช้อธิบายการทำแห้งของวัสดุได้อย่างเหมาะสม ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ คำนวณได้จากสมการที่ 2 และ 3

$$R^2 = \frac{1 - \text{Residual sum of squares}}{\text{Corrected total sum of squares}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}} - MR_{\text{pre}})^2}{N}} \quad (3)$$

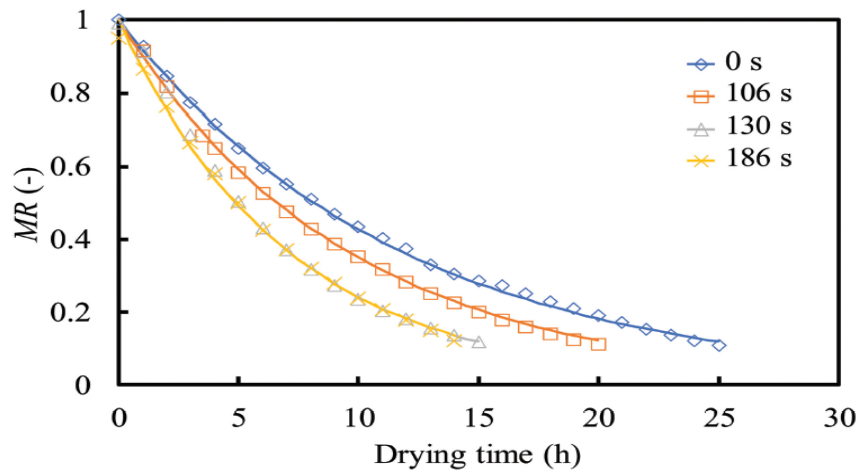
เมื่อ MR_{exp} คือ อัตราส่วนความชื้นของวัสดุที่ได้จากการทดลอง

MR_{pre} คือ อัตราส่วนความชื้นของวัสดุที่ได้จากการทำนาย

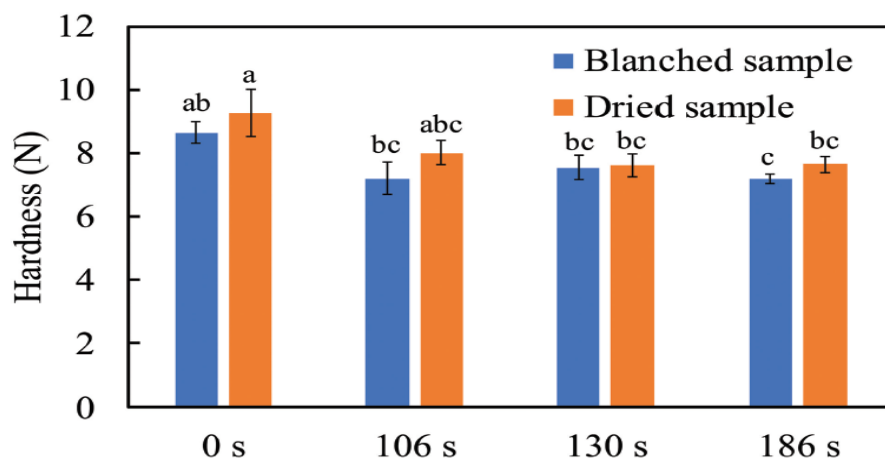
N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

Phusumpao และ Piwsaoad (2015) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบชั้นบางในการทำแห้งกระชายดำที่ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนโดยลมร้อนไหลผ่านผิวหน้าตัวอย่าง ทำแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยหั่นกระชายดำให้มีขนาดความหนาของชั้นกระชายดำ 0.5 เซนติเมตร โดยใช้สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 7 สมการ ได้แก่ Newton, Page, Modified Page, Logarithmic, Two term, Handerson and Pabis และ Modified Handerson and Pabis พบว่า สมการ Modified Handerson and Pabis สามารถใช้ในการทำนายพฤติกรรมการทำแห้งกระชายดำได้ดีที่สุด เนื่องจากในการทำแห้งที่กระชายดำที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ให้ค่า R^2 ที่สูงที่สุด คือ 0.9993, 0.9994 และ 0.9994 ตามลำดับ และ RMSE ที่ต่ำที่สุด คือ 0.5850, 0.4825 และ 0.4650

Orikasa และคณะ (2018) ได้ศึกษาผลของการลวกก่อนการทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว (Far-infrared radiation, FIR) ของพริกปาปริก้า (*Capsicum annum* L.) ต่ออัตราการทำให้แห้งของพริกที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวกก่อนการทำแห้ง โดยทำการลวกด้วยเครื่องอบไอน้ำความร้อนสูง (Superheated steam oven) เป็นระยะเวลา 0, 106, 130 และ 186 วินาที แล้วนำไปทำให้เย็นทันทีด้วยการแช่น้ำแข็ง (0 องศาเซลเซียส นาน 150 วินาที) จากนั้นซับน้ำออกจากพื้นผิวตัวอย่าง แล้วนำไปผ่านการทำให้แห้งด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว พบว่าพริกปาปริก้าที่ผ่านการลวกนั้นมีอัตราการทำให้แห้งที่สูงกว่าพริกปาปริก้าที่ไม่ได้ผ่านการลวกแสดงดังภาพที่ 13 โดยพริกปาปริก้าที่ผ่านการลวกเป็นระยะเวลา 186 วินาที มีค่าคงที่ของการทำให้แห้ง (k) มากที่สุดเท่ากับ 0.142 ค่า R^2 และค่า RMSE เท่ากับ 0.998 และ 0.265 ตามลำดับ ซึ่งค่า k นั้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการลวกส่งผลให้มีระยะเวลาในการทำให้แห้งที่เร็วที่สุดคือ 14 ชั่วโมง รองลงมาคือพริกที่ผ่านการลวกเป็นระยะเวลา 130, 106 และ 0 วินาที ได้แก่ 15, 20 และ 25 ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าพริกปาปริก้าที่ผ่านการลวกนั้นมีอัตราการทำให้แห้งที่เร็วกว่าพริกปาปริก้าที่ไม่ได้ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกจะส่งผลให้พื้นผิวของตัวอย่างมีความแข็งที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการลวก ซึ่งความแข็งของพื้นผิวตัวอย่างนั้นจะไปยับยั้งการระเหยตัวของไอน้ำ (Orikasa และคณะ, 2008) โดยการลวกที่ระยะเวลา 186 วินาที จะมีพื้นผิวของตัวอย่างที่อ่อนนุ่มกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากการลวกจะทำให้โครงสร้างของเพกทินนั้นมีความอ่อนตัวลงระหว่างการทำให้ความร้อน (Sila และคณะ, 2009) และเมื่อพิจารณาหลังการทำแห้งนั้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกนั้นที่ระยะเวลาต่างๆ จะมีพื้นผิวของตัวอย่างที่แข็งมากขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการลวกนั้น การลวกตัวอย่างที่ระยะเวลา 130 และ 186 วินาที จะมีพื้นผิวที่อ่อนนุ่มมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นของพริกปาปริก้าที่ไม่ผ่านการ ลวกก่อน การนำมาทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวโดยใช้สมการทำนายพฤติกรรมกรรมการทำแห้ง ด้วยสมการ Newton
ที่มา: Orikasa และคณะ (2018)



ภาพที่ 14 ความแข็งของพื้นผิวระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการลวกที่ระยะเวลาต่างๆ กับตัวอย่างที่ผ่านการ ลวกที่ระยะเวลาต่างๆและนำไปอบแห้งจนกระทั่งมีความชื้นร้อยละ 8.0 (ฐานแห้ง)
ที่มา: Orikasa และคณะ (2018)

2.6 อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพของพืชสมุนไพรและผลไม้ต่างๆ

ปัจจัยการทำแห้งนั้นมีต่อโครงสร้างทางกายภาพและเคมีเช่น เนื้อสัมผัส สี กลิ่นรส สารประกอบฟีนอล และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ดังนี้

2.6.1 อิทธิพลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลและ ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

Chen และคณะ (2011) ได้ศึกษาการทำแห้งต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเปลือกส้ม ได้แก่ สารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 °C พบว่าเปลือกส้มที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C และ 60 °C มีสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฟลาโวนอยด์ลดลง ในขณะที่มีค่าเพิ่มขึ้นในเปลือกส้มที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °C โดยที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C มีสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสารประกอบฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลหลักในเปลือกส้มได้แก่ นารินจิน (Naringin) นีโอเฮสเปอร์ดิซิน (Neohesperidin) แคมพ์เฟอร์อล (Kaempferol) รุทีน (Rutin) และกรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดคูมาริก (q-coumaric acid) และ ตามลำดับ นอกจากนี้ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน มีค่า EC_{50} ที่ได้จากวิธี DPPH และ วิธี ABTS⁺ นั้นมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นจาก 70-100 °C โดยที่อุณหภูมิที่ 100 °C จะมีค่าความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่า EC_{50} เท่ากับ 0.57 ± 0.01 และ 1.25 ± 0.04 ตามลำดับ

Jihène และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้การทำแห้งด้วยอินฟราเรด (infra-red drying) ต่อสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของขิง ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด ขิงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C จะมีสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่ลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 0.80 ± 0.07 และ 0.77 ± 0.07 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสดมีค่าเท่ากับ 4.60 ± 0.66 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสารประกอบฟีนอลที่พบมากในขิง ได้แก่ จินเจอร์อล (gingerol) แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งนั้นไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ นอกจากนี้ขิงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 40-70 °C จะมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันลดลง โดยขิงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C จะมีความสามารถความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันต่ำที่สุด โดยมีค่า IC_{50}

เท่ากับ 0.28 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชิงสดมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.13 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

Puengphian และ Sirichote (2008) ได้ศึกษาการทำแห้งชิงด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบกดต่อปริมาณ 6-gingerol ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในชิง โดยทำแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 11 ชั่วโมง อบแห้งจนกระทั่งชิงมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10-12 พบว่าชิงอบแห้งมีปริมาณ 6-gingerol ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด จาก 21.15 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เป็น 18.81 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ลดลงร้อยละ 11.06) ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสดเพิ่มขึ้นจาก 24.63 ± 0.43 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เป็น 59.80 ± 0.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 142.79) และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นรายงานเป็นค่า EC_{50} ลดลงจาก 64.60 ± 0.18 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็น 32.95 ± 1.32 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ลดลงร้อยละ 48.99) และวิธี ABTS มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 169.06 ± 3.96 ไมโครโมล Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เป็น 403.71 ± 7.24 ไมโครโมล Trolox ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 58.13) จะเห็นได้ว่าการลดลงของปริมาณ 6-gingerol ให้ผลที่ตรงกันข้ามกับการเพิ่มขึ้นปริมาณของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน เนื่องจากการ gingerols เมื่อถูกความร้อนจะเปลี่ยนไปเป็น shogaols และ zingerones (Kikuzaki และ Nakatani, 1993)

2.6.2 อิทธิพลของกระบวนการให้ความร้อนร่วมกับการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

Heras-Ramírez และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลของการลวกและอุณหภูมิในการทำแห้งต่อความเสถียรของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกากแอปเปิ้ล โดยทำการลวกด้วยการนำผลแอปเปิ้ลแช่ในสารละลายกรดซิตริก/แอสคอบิก ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ปรับ pH ของสารละลายเท่ากับ 2.48 ในอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายคือ 1:3 จากนั้นนำไปลวกที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิของสารละลายคงที่ที่ 86 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที จากนั้นสะเด็ดน้ำแล้วคั้นน้ำออก จะได้กากแอปเปิ้ลแล้วนำไปผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที พบว่าการลวกกากแอปเปิ้ลนั้นสามารถรักษาความคงตัวของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ของกากแอปเปิ้ลไว้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกแอปเปิ้ลสด แต่การทำ

แห้งของกากแอปเปิ้ลสด และกากแอปเปิ้ลที่ผ่านการลวกนั้น มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ ($p < 0.05$)

พัชรี และสกุลกานต์ (2558) ได้ศึกษาผลของกรรมวิธีการประกอบอาหารต่อสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของดอกชมจันทร์ โดยเปรียบเทียบวิธีการประกอบอาหารแบบต่างๆ 4 วิธีการ ได้แก่ การต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที การนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที การตากแดดนานระยะเวลา 48 ชั่วโมง การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับดอกชมจันทร์สด พบว่า การทำการประกอบอาหารทุกวิธีการไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับดอกชมจันทร์สด สำหรับความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน การนึ่งดอกชมจันทร์ทำให้มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ โดยมีร้อยละการยับยั้ง DPPH เท่ากับ 77.26

Tummanichanont และคณะ (2017) ได้ศึกษาผลของการลวก และการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในฟ้าทะลายโจร ทำการลวกในน้ำเดือดอุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15, 30, 45 และ 60 วินาที หลังจากนั้นทำให้เย็นทันทีในน้ำเย็น แล้วทำการชั่งน้ำหนักออกจากตัวอย่าง และนำไปทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด เครื่องอบแห้งด้วยการลดความชื้นโดยปั๊มความร้อน (heat pump-dehumidified dryer) ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ (microwave dryer) ที่กำลัง 270, 450 และ 720 วัตต์ และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) พบว่าการลวกตัวอย่างเป็นระยะเวลา 15 วินาที และนำไปผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยการลดความชื้นโดยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนั้นมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน สารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแอนโดรกราโฟไลด์ และสารนีโอแอนโดรกราโฟไลด์ เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.45, 11.16, 6.31 และ 23.57 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากการลวก และการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้นที่สุดคือ 20 นาที โดยการลวกจะส่งผลให้การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากการลวกจะไปทำลายผนังเซลล์อาจจะเป็นผลให้สารประกอบฟีนอล (Renard และคณะ, 2001) ถูกปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น นอกจากนั้นอุณหภูมิที่สูงในการทำแห้งจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่จะไปทำลายความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และหลีกเลี่ยงการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอล จึงส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นผลของความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจาก

ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมีความสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแอนโทราควิโนน และสารนีโอแอนโทราควิโนนเนื่องจากสารประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Kapil และคณะ, 1993)



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เหง้ากระชายดำที่มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 8 เดือน โดยซื้อจากวิสาหกิจชุมชนสมุนไพรฐานภูเลย อำเภอนาแห้ว จังหวัดเลย จำนวน 4 ครั้ง สำหรับการศึกษาในแต่ละชุดการทดลองแสดงดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายละเอียดการซื้อเหง้ากระชายดำ สำหรับแต่ละชุดการทดลอง

รุ่น	เดือนและปีที่เก็บเกี่ยว	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ชุดการทดลอง
1	กุมภาพันธ์ 2559	25	<ul style="list-style-type: none"> - อิทธิพลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้ากระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ - อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งกระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ - อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ
2	กันยายน 2559	20	<ul style="list-style-type: none"> - อิทธิพลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้ากระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ - อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งกระชายดำที่อุณหภูมิ 4 ระดับได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละอุณหภูมิทำการทดลองจำนวน 1 ซ้ำ - อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำที่อุณหภูมิ 4 ระดับได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละอุณหภูมิทำการทดลองจำนวน 1 ซ้ำ

รุ่น	เดือนและปีที่เก็บเกี่ยว	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ชุดการทดลอง
3	กุมภาพันธ์ 2560	25	<ul style="list-style-type: none"> - อิทธิพลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้ากระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ - อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งกระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ - อิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ
4	เมษายน 2560	20	<ul style="list-style-type: none"> - อิทธิพลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้ากระชายดำ ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ - อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งกระชายดำที่อุณหภูมิ 4 ระดับได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละอุณหภูมิทำการทดลองจำนวน 1 ซ้ำ - อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกระชายดำที่อุณหภูมิ 4 ระดับได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละอุณหภูมิทำการทดลองจำนวน 1 ซ้ำ

โดยเหง้ากระชายดำที่เก็บเกี่ยวจะถูกบรรจุด้วยกระสอบ และขนส่งมาทางรถประจำทางจากจังหวัดเลยมายังห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ใช้ระยะเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นเหง้ากระชายดำถูกนำมาทำความสะอาดโดยการปัดเอาดินที่ติดมากับเหง้าออก ก่อนเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 32.4 ± 0.7 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 67.3 ± 6.1 จนกระทั่งนำไปทำการทดลอง

3.2 สารเคมี

- น้ำกลั่น เกรด HPLC (distilled water, Vunique, Thailand)
- กรดอะซิติก เกรด AR (acetic acid, RCI Labsacn, Thailand)
- กรดอะซิติก เกรด HPLC (acetic acid HPLC grade 99.7%, Fisher Scientific, United Kingdom)

- เมทานอลบริสุทธิ์ เกรด AR (absolute methanol, RCl Labsacn, Thailand)
- เมทานอลบริสุทธิ์ เกรด HPLC (absolute methanol HPLC 99.9%, RCl Labsacn, Thailand)
- เอทานอล เกรด AR (absolute ethanol, RCl Labsacn, Thailand)
- กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, QRëC, New Zealand)
- โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate, Ajax Finechem, Australia)
- สารมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone (5,7-dimethoxyflavone standard, Sigma-Aldrich, USA)
- 2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ, Fluka Sigma-Aldrich, Switzerland)
- 2, 2 diphenyl-1-piclyhydrazyl (DPPH, Fluka Sigma- Aldrich, Switzerland)
- ไอร์ออนคลอไรด์ (Iron (III) chloride, Chem-Supply Pty Ltd., Australia)
- เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous (II) sulphate, Ajax Finechem, Australia)
- สารมาตรฐาน 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox standard, Sigma-Aldrich, USA)
- สารละลายกรดเปอร์ออกซีอะซิติก (Tsunami) (peroxyacetic acid, Ecolab, Inc., Thailand)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

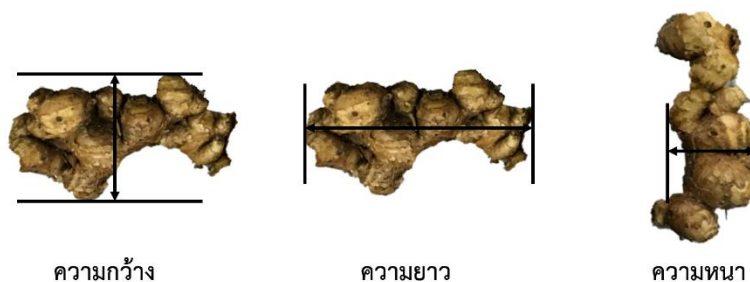
- ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก (greenhouse solar dryer) ขนาดกว้าง 8.0 เมตร ยาว 12.4 เมตร (ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร) พัฒนาโดย ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย ร่วมกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด 24 ถาด (tray dryer, บริษัทกล้วยน้ำไท เทรตติ้ง กรุ๊ป จำกัด, ประเทศไทย)
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบตศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance, รุ่น TE 31025, Sartorius AG, Germany)
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดตศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance, รุ่น BP 2215, Sartorius AG, Germany)
- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (benchtop water activity meter รุ่น AQUA LAB 4TE, METER Group, Inc., USA)
- เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid

- chromatography, Shimadzu model RF-20A prominence PDA, degassing unit (DGU-20A3R); LC-20AD, heating box model T-120D, Japan)
- เครื่องปั่นเอนกประสงค์ (blender, รุ่น 600 วัตต์ HR 2115, บริษัท ฟิลิปส์ (ประเทศไทย) จำกัด, ประเทศไทย)
 - เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer, รุ่น Vortex-Genie2, Scientific Industries, Inc., USA)
 - อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath, รุ่น MEM-1, Memmert, Germany)
 - เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic cleaner รุ่น 360D, บริษัท Advance Ceramics Technology, Malaysia)
 - เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, รุ่น PHM 210, Metro Lab. Co. Ltd., France)
 - เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave, รุ่น SS-325, TOMY SEIKO Co., Ltd., Japan)
 - ตู้อบลมร้อน (hot air oven, Binder, Germany)
 - เครื่องหั่นสไลด์ (slicer machine, Wasino, บริษัท ไอเดียล โปรแกรม แอนด์ โซลูชั่น จำกัด, ประเทศไทย)
 - เครื่องวัดสี (hunter lab, รุ่น MiniScan EZ 4500S, Hunter Associates Laboratory, Reston, VA, USA)
 - เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifuge, รุ่น Universal 16, Hettich, Germany)
 - เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV/Vis spectrophotometer, GENESYS 10S, Thermo Scientific, Madison, WI, USA)
 - เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอล (digital caliper vernier, รุ่น Sumo, บริษัท สยาม โกลบอล กรุป จำกัด, ประเทศไทย)
 - เครื่องแก้ว
 - เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature and humidity data logger, รุ่น DC 100, Yokogawa, USA)
 - เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature and humidity data logger รุ่น DL-121TH, VOLTCRAFT, Germany)
 - อุปกรณ์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ (pyranometer, รุ่น CMP11, Kipp & Zonen, Tempcon Instrumentation, United Kingdom)
 - คอลัมน์ Luna 5 ไมโครเมตร C18 (2) 100 อังสตรอม ขนาด 250 x 4.6 มิลลิเมตร (column, Phenomenex, Torrance, USA)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของเหง้ากระชายดำ

นำเหง้ากระชายดำที่ซื้อมาในแต่ละรุ่น มาวัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา โดยสุ่มตัวอย่างมารุ่นละ 25 เหง้า และทำการวัดแสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การวัดขนาดเหง้ากระชายดำ

3.4.2 การเตรียมเหง้ากระชายดำ

นำเหง้ากระชายดำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา เพื่อกำจัดเศษดินที่ติดมาในระหว่างการเก็บเกี่ยว และนำไปแช่ในสารละลายกรดเปอร์ออกซิอะซิติก (peroxyacetic acid) ความเข้มข้น 100 ppm ในอัตราส่วนเหง้ากระชายดำต่อสารละลายที่ 1:2 (w/v) เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นล้างให้แห้งโดยใช้พัดลมเป่า นาน 15 นาที แสดงดังภาพที่ 16



ล้างทำความสะอาด
กำจัดเศษดิน

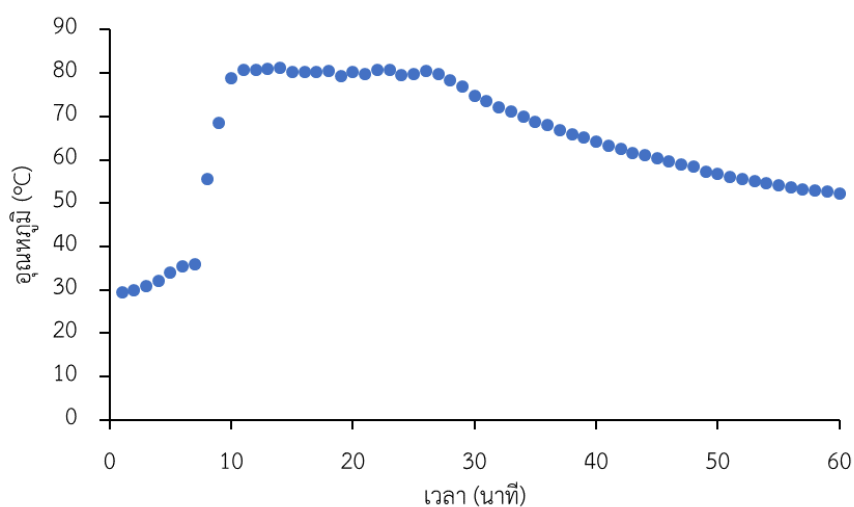
แช่ในสารละลาย
กรดเปอร์ออกซิอะซิติก

ล้างให้แห้ง

ภาพที่ 16 ขั้นตอนการเตรียมเหง้ากระชายดำ

3.4.3 การศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้า กระชายดำ

สถานะที่ใช้ในการให้ความร้อนในแต่ละครั้งคือ นำเหง้ากระชายดำที่ผ่านการล้างทำความสะอาดตามข้อ 3.4.2 จำนวน 2 กิโลกรัม ใส่ในเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) โดยใช้เวลานาน 1 ชั่วโมง ในสภาวะอุณหภูมิใน autoclave แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 อุณหภูมิในเครื่อง autoclave ระหว่างการให้ความร้อนเหง้ากระชายดำ

จากนั้นนำเหง้ากระชายดำมาแปดด้วยพัดลมให้อุณหภูมิเย็นลงถึงอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปหั่นตามขวางให้มีความหนา 0.5 เซนติเมตร

3.4.3.1 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน

สุ่มขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และผ่านการให้ความร้อนมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ขนาด ค่าสี และคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.3.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.4.3.1.1.1 ขนาดของขึ้นกระชายดำ

นำขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่มวัดความกว้าง ความยาว และความหนาด้วยเครื่องเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แสดงดังภาพที่ 18 โดยสุ่มวัดขนาดขึ้นกระชายดำจำนวน 25 ชิ้น ต่อชุดการทดลอง



ภาพที่ 18 การวัดขนาดของขึ้นกระชายดำ

3.4.3.1.1.2 ค่าสี ระบบ CIE

สุ่มขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และผ่านการให้ความร้อนมาวัดค่าสีได้แก่ค่า L^* , a^* และ b^* ด้วยเครื่อง Hunter Lab โดยทำการสุ่มวัด 3 ตำแหน่งต่อชิ้น และวัดทั้งหมดจำนวน 25 ชิ้นต่อชุดการทดลอง จากนั้นนำค่า L^* , a^* และ b^* มาคำนวณค่า Chroma (C^*), hue angle (h°) และ ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (total color difference, ΔE) ดังสมการ

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{hue angle} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

หมายเหตุ ΔE เปรียบเทียบความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างก่อนและหลังการทำแห้ง

3.4.3.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

3.4.3.1.2.1 ปริมาณความชื้น (moisture content: MC) (AOAC, 1999)

ในแต่ละชุดการทดลอง สุ่มชิ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนจำนวน 10 ชิ้น หรือประมาณ 50 กรัม มาปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม และชั่งตัวอย่างกระชายดำน้ำหนัก 3-5 กรัม ลงในภาชนะอลูมิเนียม (moisture can) ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว จากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวอย่างกับภาชนะอีกครั้งแล้วนำภาชนะอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างแล้ว เข้าอบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ เมื่อน้ำหนักคงที่แล้ว นำภาชนะอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.4.3.1.2.2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity: a_w)

ในแต่ละชุดการทดลอง สุ่มชิ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนจำนวน 10 ชิ้น หรือประมาณ 50 กรัม นำชิ้นกระชายดำมาปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม และสุ่มตัวอย่างกระชายดำน้ำหนักประมาณ 3 กรัม บรรจุลงในถ้วยพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่าง จากนั้นวางลงในเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี โดยควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส รอจนกระทั่งการวัดดำเนินแล้วเสร็จ จึงสามารถอ่านค่าที่จอแสดงผลได้ ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.4.3.1.2.3 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone

ในการศึกษานี้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ด้วยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) โดยดัดแปลงมาจาก Thao และคณะ (2016) นำตัวอย่างชิ้นกระชายดำทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม จากนั้นชั่งตัวอย่างน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1.0013 ± 0.0012 กรัม ใส่ในขวดสีชา ขนาด 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายเมทานอลบริสุทธิ์ (absolute methanol) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปในขวดสีชา จากนั้นนำไปสกัดโดยวิธี sonication ด้วยเครื่องอัลตราโซนิคที่มีความถี่ 45 kHz เป็นเวลา 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิในอ่าง ultrasonic ไม่เกิน 30 ± 2 องศาเซลเซียส โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วยน้ำเย็น จากนั้นกรองสารสกัดด้วยกระดาษ whatman no.4 ลงในขวดปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 25 มิลลิลิตรด้วยสารละลายเมทานอลบริสุทธิ์ นำสารสกัดที่ได้มากรองผ่าน nylon filter ขนาด $0.45 \mu\text{m}$ และบรรจุสารสกัดที่ผ่านการกรองใส่ในขวดสีชาขนาด 1.5 มิลลิลิตร

ทำการสกัดจำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone ด้วยเครื่อง HPLC ที่มีประเภทของเครื่องตรวจจับ (detector) แบบ photodiode array โดยใช้คอลัมน์ C18 ในการแยกสาร และควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยปริมาตรของสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง HPLC จำนวน 10 ไมโครลิตร และใช้ระบบการชะแบบคงที่ตลอดการวิเคราะห์ (isocratic) ซึ่งสัดส่วนของเฟสเคลื่อนที่คือสารละลายเมทานอลบริสุทธิ์ (absolute methanol) ต่อสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 (60:40) ใช้อัตราการไหลที่ 0.6 มิลลิลิตรต่อวินาที และติดตามปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone ที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร

การวิเคราะห์เพื่อคำนวณปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone ของตัวอย่าง ขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ที่ได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ในเมทานอลบริสุทธิ์ ให้ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ให้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 6 ระดับได้แก่ 5, 10, 25, 50, 80, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC จนได้พื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone สำหรับการหาปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone ของตัวอย่างขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนนั้น นำพื้นที่ใต้พีคที่ได้ของตัวอย่างขึ้นกระชายดำที่ได้ไปแทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone และรายงานเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง แสดงดังภาคผนวก ข

3.4.3.1.2.4 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

วิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay (ดัดแปลงจาก Brand-william และคณะ, 1995) และ FRAP Assay (ดัดแปลงจาก Benzie and Strain, 1996) มีรายละเอียดดังนี้

วิธีสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและไม่ผ่านการให้ความร้อนมาปั่นด้วยเครื่องปั่นผสมให้ละเอียด จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 3.0011 ± 0.0021 กรัม ลงในหลอดสำหรับเครื่องหมุนเวียงแบบมีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า (vortex) นาน 5 นาที นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 6,000 rpm นาน 15 นาที จากนั้นกรองสารสกัดผ่านกระดาษกรอง whatman no.4 ลงในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำส่วนที่เหลือไปทำ

การสกัดอีกจำนวน 2 ซ้ำ และนำส่วนใสที่ได้มาผสมรวมกัน แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อนำสารสกัดไปวิเคราะห์ต่อไป

สำหรับวิธี DPPH นั้นเริ่มจากปิเปตสารละลายที่สกัดได้มาปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl) ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่านาน 5 วินาที จากนั้นนำไปเก็บไว้ในที่มืดเพื่อทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำสารสกัดหลังทำปฏิกิริยาแล้วนั้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยสารละลายแบลนด์ (blank) คือสารละลายเมทานอลบริสุทธิ์ และสารละลายควบคุม (control) คือสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง การวิเคราะห์หาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยใช้สารมาตรฐาน Trolox ที่มีความเข้มข้น 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน แสดงดังภาคผนวก ข นำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และรายงานผลเป็นไมโครโมล Trolox/100 กรัมตัวอย่างแห้ง แสดงดังภาคผนวก ข

ในการวิเคราะห์หาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay เริ่มจากปิเปตสารละลายที่สกัดได้มาทำการเจือจางลง 5 เท่า จากนั้นดูดสารละลาย 1 มิลลิลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับ FRAP reagent จำนวน 3 มิลลิลิตร ในอ่างน้ำที่มีการอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารสกัดหลังทำปฏิกิริยาไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยหลอดควบคุม คือ สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับ FRAP reagent ปริมาตร 3.00 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง วิเคราะห์หาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยใช้สารมาตรฐานของโอรธอนซิลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับ FRAP reagent นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน และรายงานเป็นไมโครโมลเพอร์ริสซิลเฟตต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง แสดงดังภาคผนวก ข

3.4.4 การเตรียมขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง

เตรียมขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้งเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2 และ 3.4.3 จากนั้นทำการสุ่มขึ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ขนาด พารามิเตอร์ค่าสี และคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1.1 และ 3.4.3.1.2



3.4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาคต่อ ต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งของขึ้นกระชายดำ

ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาคต่อต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนนั้น ศึกษาที่อุณหภูมิ 4 ระดับได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยนำตัวอย่างขึ้นกระชายดำมาวางเรียงบนตะแกรงขนาด 53.3 x 73.3 เซนติเมตร แบบชั้นเดี่ยว (single layer) จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตะแกรงรวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนการทำแห้งดังภาพที่ 19 แล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาคต่อที่อุณหภูมิต่างๆ ทำการชั่งน้ำหนักจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ โดยทำการทดลองทั้งหมดจำนวน 2 ซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้ง และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การทำแห้ง โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้ง (กรัม/น้ำหนักน้ำ/กรัม/น้ำหนักฐานแห้ง·ชั่วโมง) กับปริมาณความชื้น (กรัม/น้ำหนักน้ำ/กรัม/น้ำหนักฐานแห้ง) และศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับการทำนายจลนพลศาสตร์การทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน โดยใช้สมการของนิวตัน (Newton) เพจ (Page) และโมดิฟายด์เพจ (Modified page) แสดงดังตารางที่ 6



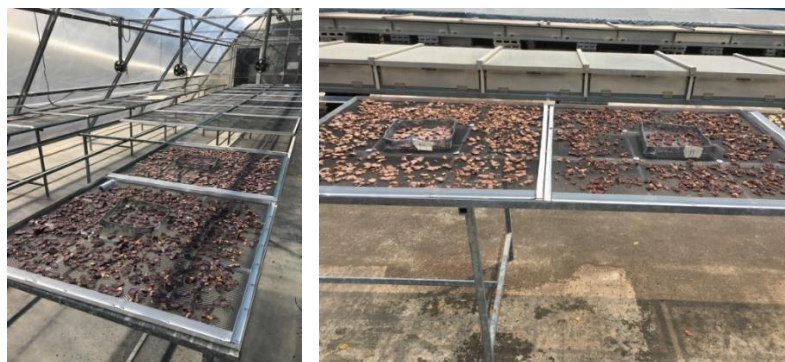
ภาพที่ 19 การเรียงตัวอย่างขึ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาคต่อที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การทำแห้งของชิ้นกระดาษ

ลำดับที่	ชื่อแบบจำลอง	แบบจำลอง	อ้างอิง
1	$MR = \exp(-kt)$	Newton	Lewis (1921)
2	$MR = \exp(-kt^n)$	Page	Page (1949)
3	$MR = \exp(-kt)^n$	Modified Page	Overhults และคณะ (1973)

3.4.6 การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งของชิ้นกระดาษ

สำหรับการศึกษาการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับ การตากแดดต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งชิ้นกระดาษที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน ทำการชั่งน้ำหนักตะแกรงเปล่า แล้วนำชิ้นกระดาษที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนตามข้อ 3.4.4 ที่มีขนาดความหนา 0.5 เซนติเมตร วางชิ้นกระดาษที่บนตะแกรงที่มีขนาด 21×21 เซนติเมตร น้ำหนักตะแกรงละ 130 กรัม จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตะแกรงรวมกับน้ำหนักตัวอย่าง ก่อนการทำแห้ง แล้วทำการทำแห้งชิ้นกระดาษด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับ การตากแดด แสดงดังภาพที่ 20 โดยทำการชั่งน้ำหนักในวันแรกของการศึกษาทุกๆ 1 ชั่วโมง และในวันถัดไป ทุกๆ 2 ชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักชิ้นกระดาษจะคงที่ โดยทำการทดลองทั้งหมดจำนวน 2 ชั่วโมง 2 ครั้ง ในระหว่างการทดลองทำการบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ทั้งภายนอกและภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และความเข้มรังสีอาทิตย์ภายนอกอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มรังสีอาทิตย์ จากนั้นวิเคราะห์ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างชิ้นกระดาษก่อนและหลังการทำแห้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ จลนพลศาสตร์การทำแห้งโดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) กับ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้ง (กรัม/น้ำหนักน้ำ/กรัม/น้ำหนักแห้ง-ชั่วโมง) กับปริมาณความชื้น (กรัม/น้ำหนักน้ำ/กรัม/น้ำหนักแห้ง)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 20 การทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบ
อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) เปรียบเทียบกับการตากแดด (ข)

3.4.7 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดต่อคุณภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ

ในการศึกษาอิทธิพลผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนนั้น ทำการศึกษาอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่มีการเตรียมตัวอย่างตามข้อที่ 3.4.4 และมีขั้นตอนการทำแห้งตามข้อ 3.4.5 โดยจะทำการอบแห้งจนกระทั่งมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 (มาตรฐานสมุนไพรในตำราสมุนไพรไทย, 2553) ทำการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ จากนั้นทำการสุ่มขึ้นกระชายดำที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ตามข้อ 3.4.3.1.1.2 และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี ปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ตามข้อ 3.4.3.1.2 โดยน้ำหนักสำหรับการสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone ในแต่ละการทดลอง ทำการสุ่มขึ้นกระชายดำที่ผ่านการทำแห้งน้ำหนักประมาณ 20 กรัม บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม แบ่งชั่งตัวอย่างกระชายดำที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว ตัวอย่างละ 0.1008 ± 0.0006 กรัม ลงในขวดสีชา ขนาด 10 มิลลิลิตร อัตราส่วนของตัวทำละลายและการสกัดเป็นเช่นเดียวกับขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง และการวิเคราะห์หาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP assay นั้น ซึ่งตัวอย่างกระชายดำที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว ตัวอย่างละ 0.5006 ± 0.0004 กรัม ลงในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยงแบบมีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร โดยอัตราส่วนของตัวทำละลายและการสกัดเป็นเช่นเดียวกับขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง

3.4.8 การศึกษาผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ

ในการศึกษาการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับตากแดดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน นำขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนตามข้อ 3.4.4 มาทำแห้งโดยการเรียงขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนบนตะแกรงที่มีขนาด 90×100 เซนติเมตร ตะแกรงละ 2 กิโลกรัม แล้วนำไปทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับตากแดด โดยทำการทำแห้งขึ้นกระชายดำจนกระทั่งมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 (มาตรฐานสมุนไพรในตำราสมุนไพรไทย, 2552) ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ครั้ง จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างขึ้นกระชายดำที่ผ่านการทำแห้งมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ตามข้อ 3.4.3.1.1.2 และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ตามข้อ 3.4.3.1.2 การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone ในแต่ละการทดลอง เริ่มจากสุ่มขึ้นกระชายดำที่ผ่านการทำแห้งน้ำหนักประมาณ 20 กรัม บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดผสม แบ่งซังตัวอย่างกระชายดำที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว ตัวอย่างละ 0.1008 ± 0.0006 กรัม ลงในขวดสีชาขนาด 10 มิลลิลิตร อัตราส่วนของตัวทำละลายและการสกัดเป็นเช่นเดียวกับขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง และการวิเคราะห์หาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP assay นั้น ซังตัวอย่างกระชายดำที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว ตัวอย่างละ 0.5006 ± 0.0004 กรัม ลงในหลอดสำหรับหมุนเวียงแบบมีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร โดยอัตราส่วนของตัวทำละลายและการสกัดเป็นเช่นเดียวกับขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง

3.4.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้ากระชายดำ จำนวน 12 ซ้ำ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: Anova) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Paired Samples T-Test ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ โดยวางแผนแบบ (Randomized Completely Block Design: RCBD) ทำการทดลองทำแห้งจำนวน 2 ซ้ำ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบความแตกต่างของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพก่อนและหลังการทำแห้ง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Paired Samples T-Test ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

โดยการวิเคราะห์ทางสถิตินั้นใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS for Windows เวอร์ชัน

18.



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเหง้ากระชายดำ

ลักษณะทางกายภาพของเหง้ากระชายดำจำนวน 4 รุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้ แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าขนาดด้านความกว้าง ความยาว และความหนาของเหง้ากระชายดำที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพของเหง้ากระชายดำที่ใช้ในการศึกษา (n=100)

ขนาด	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	รุ่นที่ 3	รุ่นที่ 4
จำนวนกระชายดำ (เหง้า)	25	25	25	25
ความกว้าง (เซนติเมตร) ^{ns}	4.11 \pm 0.49	4.21 \pm 0.17	4.03 \pm 0.40	4.00 \pm 0.35
ความยาว (เซนติเมตร) ^{ns}	7.09 \pm 0.78	7.28 \pm 0.23	7.03 \pm 0.65	7.30 \pm 0.70
ความหนา (เซนติเมตร) ^{ns}	2.27 \pm 0.15	2.30 \pm 0.48	2.22 \pm 0.19	2.15 \pm 0.17

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

4.2 ผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเหง้ากระชายดำ

4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะปรากฏของชิ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อน แสดงดังภาพที่ 21 พบว่าชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนนั้นมีสีม่วงเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและเมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ด้านสีแสดงดังตารางที่ 8 พบว่าชิ้นกระชายดำสดที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่า ΔE ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีจากตัวอย่างสด เมื่อพิจารณาค่า L^* และค่า b^* ของตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนพบว่ามียาลดลง และค่า Hue เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่การให้ความร้อนไม่มีผลต่อค่า a^* และค่า Chroma ของเนื้อกระชายดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 8) ทั้งนี้ชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความ

ร้อนนั้นมีสีม่วงเข้มมากขึ้น เนื่องจากการให้ความร้อนจะไปทำลายเซลล์พืชทำให้สารประกอบแอนโทไซยานินส์ที่เป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงในกระชายดำนั้นถูกปลดปล่อยออกมา จึงทำให้ขึ้นกระชายดำมีสีม่วงเข้มมากขึ้น (Yang และ Gadi, 2008)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 21 ลักษณะปรากฏของขึ้นกระชายดำสดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข)

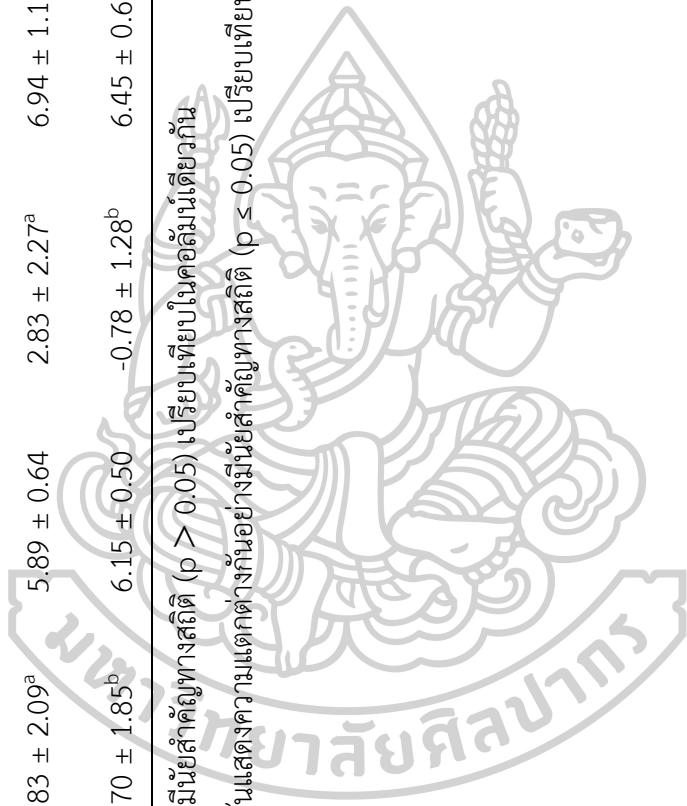


ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์คุณภาพด้านสีของชิ้นกระดาษชวยดำสัดที่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ

ตัวอย่าง (n=12)	L*	a* ^{ns}	b*	Chroma ^{ns}	Hue	ΔE
ไม่ผ่านการให้ความร้อน	31.83 ± 2.09 ^a	5.89 ± 0.64	2.83 ± 2.27 ^a	6.94 ± 1.12	332.23 ± 8.75 ^b	
ผ่านการให้ความร้อน	26.70 ± 1.85 ^b	6.15 ± 0.50	-0.78 ± 1.28 ^b	6.45 ± 0.60	346.14 ± 6.13 ^a	6.03 ± 1.27

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

^a และ ^b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบคอลัมน์เดียวกัน



4.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

ผลของการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติทางเคมีในชั้นกระชายดำแสดงดังตารางที่ 9 พบว่าการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การให้ความร้อนไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ โดยที่กระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณความชื้นลดลงน่าจะเกิดจากการปล่อยให้กระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเย็นลงที่อุณหภูมิห้องโดยใช้พัดลมเป่าเป็นเวลา 30 นาที อาจส่งผลให้เกิดการระเหยของไอน้ำที่ผิวหน้าสู่อากาศ

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone (5,7-DMF) ของชั้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนนั้นพบว่ามีปริมาณที่สูงขึ้นอาจเนื่องจากการให้ความร้อนจะทำลายผนังเซลล์พืช ทำให้วัตถุดิบมีอนุภาคที่เล็กลง เกิดโพรงขนาดใหญ่ และมีช่องว่างระหว่างเซลล์มากขึ้น จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่มากขึ้นบนวัตถุดิบ (Tummanichanont และคณะ, 2017)

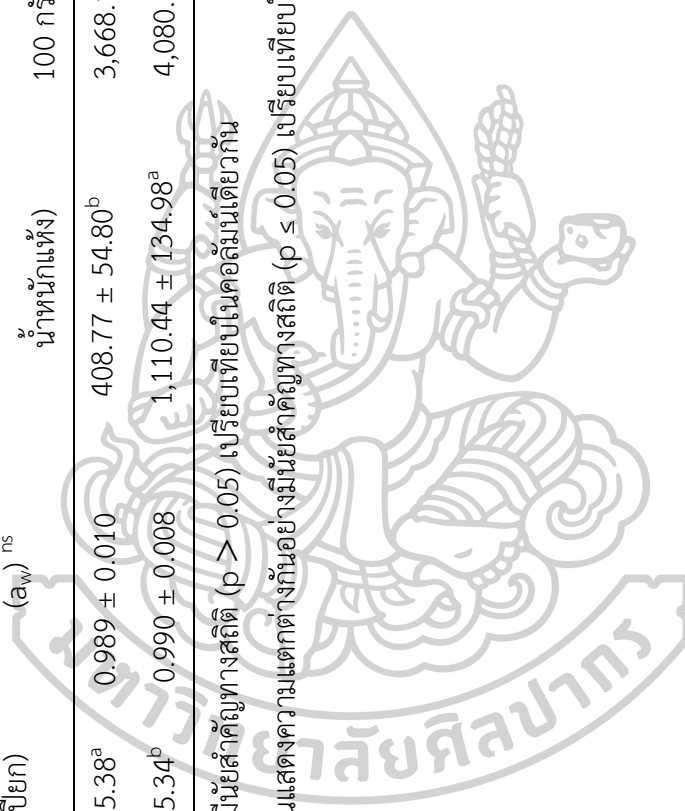
นอกจากนี้ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันทั้งวิธี DPPH และ FRAP ของชั้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยในกระชายดำมีสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชันได้แก่ 5,7-DMF, gallic acid, apigenin, tangerenic, anthocyanins และ kaempferiaosides A และ B เป็นต้น (Chaipech และคณะ, 2012; Horigome และคณะ, 2014; Lee และคณะ, 2018; Sutthanut และคณะ, 2007) และเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนอาจสอดคล้องกับปริมาณ 5,7-DMF ที่เพิ่มขึ้น และ Chaipech และคณะ (2012) พบสารประกอบฟีนอลไกลโคไซด์ ได้แก่ kaempferiaosides A และ B ในกระชายดำโดยจับกับน้ำตาลด้วยพันธะไกลโคซิดิก และการให้ความร้อนจะทำลายพันธะไกลโคซิดิกของ kaempferiaosides ทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบฟีนอลที่สามารถสกัดได้ง่ายขึ้นร่วมกับการให้ความร้อนที่ไปทำลายเนื้อเยื่อส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัด (Tummanichanont และคณะ, 2017)

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมีของชิ้นกระดาษขยาดำสัดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ

ตัวอย่าง (n=12)	ปริมาณความชื้น (% ฐานเปียก)	ค่าออสโมลลิตี (a_w) ^{ns}	5,7-DMF (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	DPPH (ไมโครโมลของ Trolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	FRAP (ไมโครโมลของ FeSO ₄ ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)
ไม่ผ่านการให้ความร้อน	75.16 ± 5.38 ^a	0.989 ± 0.010	408.77 ± 54.80 ^b	3,668.18 ± 205.06 ^b	17.70 ± 1.48 ^b
ผ่านการให้ความร้อน	73.22 ± 5.34 ^b	0.990 ± 0.008	1,110.44 ± 134.98 ^a	4,080.22 ± 93.74 ^a	19.88 ± 0.96 ^a

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

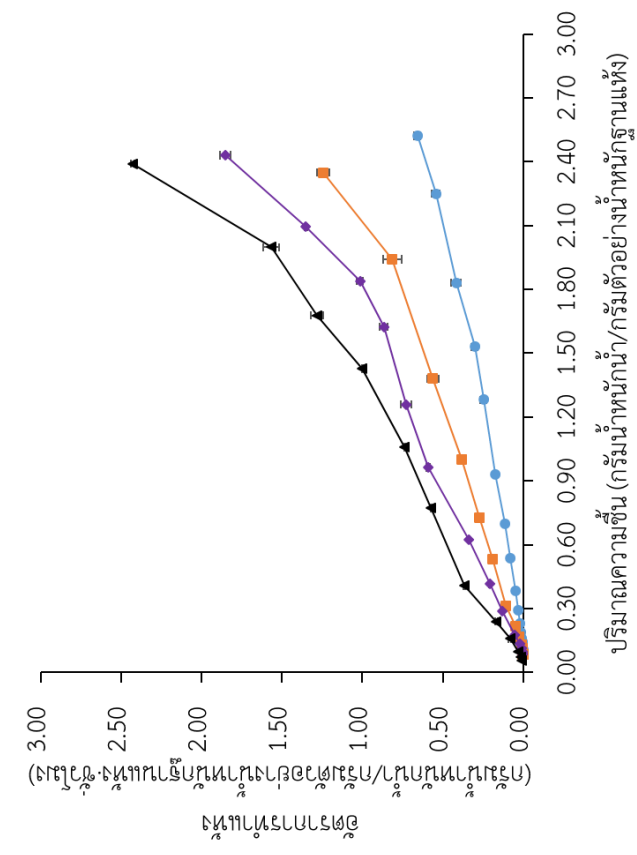
^a และ ^b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน



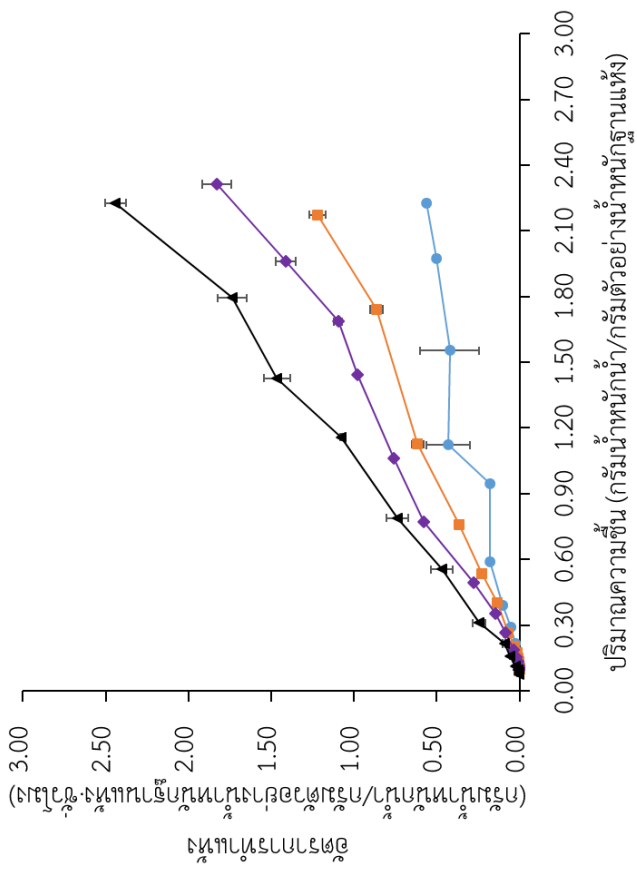
เมื่อพิจารณาถึงอัตราการทำแห้งของชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนจากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีอัตราการทำแห้งสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำแห้งสูงสุด (ภาพที่ 22) รองลงมาคือทำการแห้งที่อุณหภูมิ 60, 50 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบเฉพาะอัตราการทำแห้งที่ลดลง (falling rated period) ยกเว้นการทำแห้งชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นั้น จะพบช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) ในช่วงแรกของการทำแห้ง และตามด้วยช่วงอัตราการทำแห้งที่ลดลง โดยช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ เกิดเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำที่ผิวหน้า (evaporation) และอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในมาอยู่ที่ผิวหน้า (diffusion) เกิดได้อย่างต่อเนื่อง และอัตราการทำแห้งลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากมีปริมาณความชื้นในชิ้นกระชายดำเหลือน้อยลง น้ำภายในชิ้นตัวอย่างเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าได้ช้ากว่าการระเหยน้ำที่ผิวหน้าทำให้เกิดอัตราการทำแห้งลดลง

สำหรับอัตราการทำแห้งของชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ มีสูงกว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากความร้อนจะทำให้พื้นผิวของวัตถุดิบมีความอ่อนนุ่มลง ภายในเกิดเป็นรูพรุน จึงส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในสู่ภายนอกได้ดีกว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงแรก แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงหลังของการทำแห้งชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีอัตราการทำแห้งที่ช้าลง เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้ชิ้นกระชายดำที่มีองค์ประกอบของแป้งนั้นเกิดเจลลาตินเซชันเป็นโครงสร้างเจล ซึ่งจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำภายในชิ้นตัวอย่างออกสู่ภายนอก จึงส่งผลให้ชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนมีอัตราการทำแห้งที่ช้าลงในช่วงท้ายของการทำแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

● 40 °C ■ 50 °C ◆ 60 °C ▲ 70 °C



(ก)



(ข)

ภาพที่ 22 อัตราการทำแห้งของชิ้นกระดาษที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่านการให้ความร้อน (ข) จากการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาวรที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์สมการทำแห้งเพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการทำนายจลนพลศาสตร์ในการทำแห้งขึ้นกระชายดำ โดยนำค่าปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาค่าคงที่ของสมการทำแห้งชั้นบาง (thin layer) ได้แก่ สมการของนิวตัน (Newton) เพจ (Page) และโมดิฟายด์เพจ (Modified Page) โดยเลือกสมการทำแห้งที่สามารถทำนายลักษณะการทำแห้งขึ้นกระชายดำได้เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) สูงสุดหรือเข้าใกล้ 1 และค่าเฉลี่ยของรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (root mean square error; RMSE) ต่ำที่สุด ซึ่งจะได้ค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการทำแห้งขึ้นกระชายดำแบบชั้นบางด้วยสมการต่างดังตารางที่ 10 พบว่าค่าคงที่ของการทำแห้งหรือค่า k มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่อุณหภูมิสูงจะมีค่า k ที่สูงกว่าอุณหภูมิต่ำ

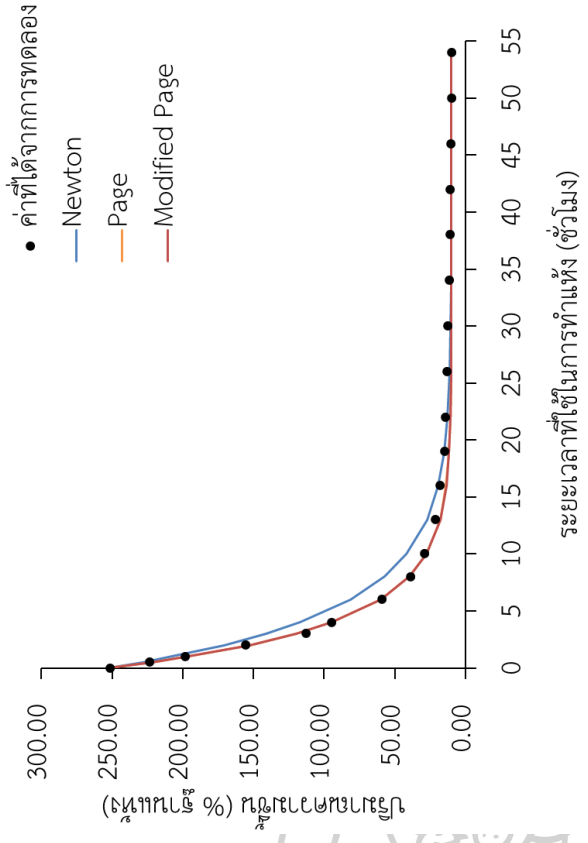
เมื่อนำค่าความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลองโดยกำหนดให้ความชื้นสุดท้ายของกระชายดำที่ทำแห้งจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่นั้นเป็นความชื้นสมดุลไปคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นและหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) กับระยะเวลาในการทำแห้ง จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับสมการทำแห้งที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ Newton, Page และ Modified Page จะพบว่า สมการ Page สามารถทำนายพฤติกรรมการทำแห้งของขึ้นกระชายดำได้ใกล้เคียงกับการทดลอง โดยพิจารณาจากค่า R^2 สูงที่สุดในช่วง 0.99987-1.00000 และ RMSE น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสมการทำแห้งอีก 2 สมการ แสดงดังตารางที่ 10 เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ Newton สมการ Page และสมการ Modified Page เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังภาพที่ 23

ตารางที่ 10 ค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการทำแห้งขึ้นกระดาษด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

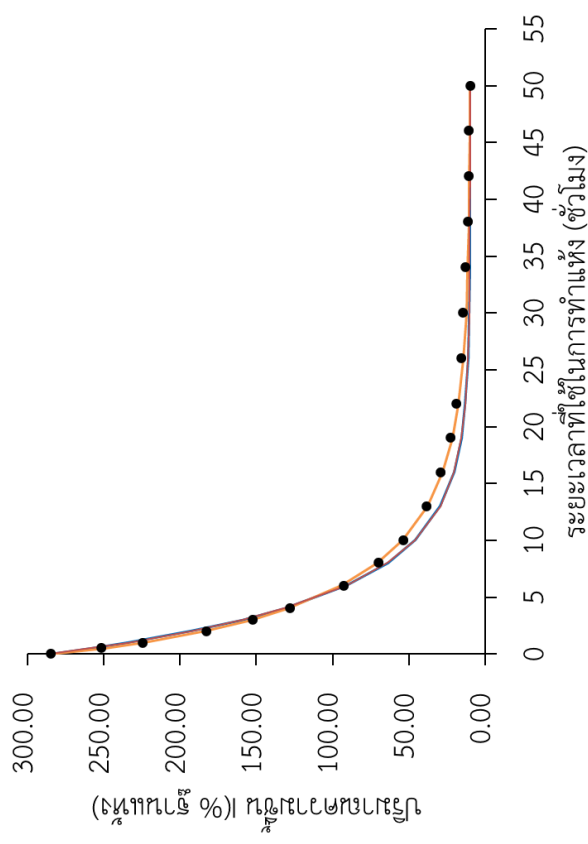
อุณหภูมิ (°C)	สถานะการทำแห้ง	Newton					Page					Modified Page					
		เวลาในการทำแห้ง (ชั่วโมง)	k (h ⁻¹)	R ²	RMSE	k (h ⁻¹)	n	R ²	RMSE	k (h ⁻¹)	n	R ²	RMSE	k (h ⁻¹)	n	R ²	RMSE
40	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	50	0.20318 ^e	0.99570	0.00044	0.25365 ^g	0.85798 ^c	0.99978	0.00002	0.24509 ^d	0.82902 ^{bc}	0.99570	0.00044	0.24509 ^d	0.82902 ^{bc}	0.99570	0.00044
	ผ่านการให้ความร้อน	54	0.26314 ^e	0.99875	0.00013	0.26455 ^g	0.99583 ^a	1.00000	0.00013	0.26440 ^{bcd}	0.99525 ^{bc}	0.99875	0.00013	0.26440 ^{bcd}	0.99525 ^{bc}	0.99875	0.00013
50	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	36	0.39151 ^e	0.99757	0.00022	0.43856 ^f	0.88620 ^{bc}	0.99984	0.00001	0.44017 ^{cd}	0.88946 ^c	0.99757	0.00022	0.44017 ^{cd}	0.88946 ^c	0.99757	0.00022
	ผ่านการให้ความร้อน	40	0.46349 ^d	0.99736	0.00022	0.50124 ^e	0.90336 ^{bc}	1.00000	0.00010	0.50712 ^{ab}	0.91396 ^{bc}	0.99999	0.00022	0.50712 ^{ab}	0.91396 ^{bc}	0.99999	0.00022
60	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	17	0.58714 ^{cd}	0.99770	0.00025	0.61324 ^d	0.89703 ^{bc}	0.99987	0.00001	0.63355 ^{abc}	0.92674 ^{abc}	0.99770	0.00025	0.63355 ^{abc}	0.92674 ^{abc}	0.99770	0.00025
	ผ่านการให้ความร้อน	19	0.67325 ^{bc}	0.99772	0.00023	0.68953 ^e	0.91196 ^{bc}	0.99905	0.00010	0.68953 ^{ab}	0.91196 ^{ab}	0.99905	0.00010	0.68953 ^{ab}	0.91196 ^{ab}	0.99905	0.00010
70	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	11	0.76820 ^b	0.99709	0.00031	0.76820 ^b	0.89651 ^{bc}	0.99976	0.00003	0.80233 ^a	0.93634 ^a	0.99732	0.00028	0.80233 ^a	0.93634 ^a	0.99732	0.00028
	ผ่านการให้ความร้อน	13	0.91797 ^a	0.99822	0.00018	0.91933 ^a	0.91379 ^b	0.99952	0.00005	0.96101 ^a	0.95522 ^a	0.99822	0.00018	0.96101 ^a	0.95522 ^a	0.99822	0.00018

a, b, c, ... หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

* เวลาที่ใช้ในการทำแห้งจนกระทั่งน้ำหนักของชิ้นกระดาษมีค่าคงที่



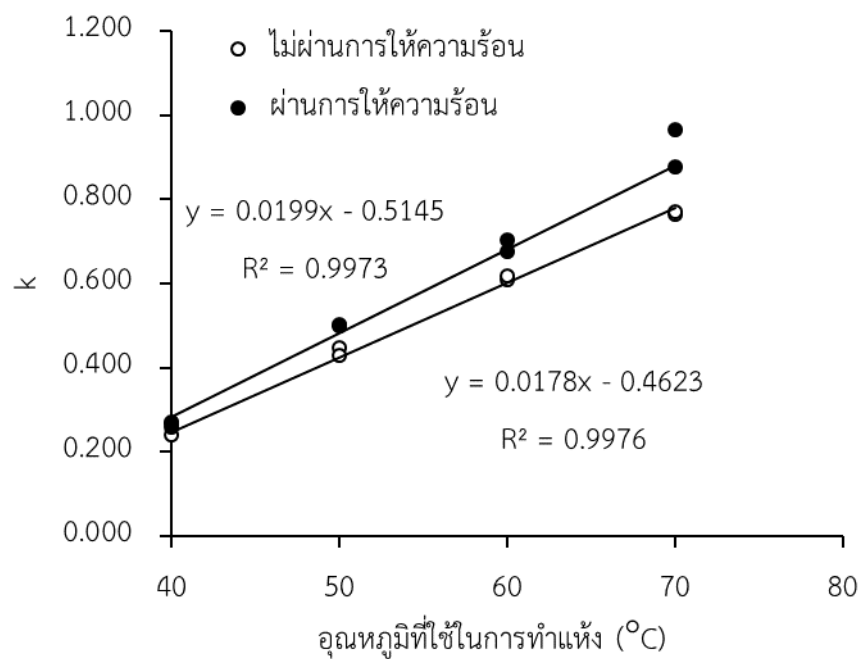
(ข)



(ค)

ภาพที่ 23 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่านการให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคาดการณ์ Newton, Page และ Modified Page

จะเห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากสมการ Page นั้นสามารถทำนายพฤติกรรมการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงได้เลือกนำค่าคงที่ k จากสมการ Page มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งพบว่า ค่าคงที่ k มีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่า สภาวะที่มีอัตราการทำแห้งที่สูงที่สุดคือ ขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อน และผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีค่า k ที่มากที่สุด และสภาวะที่มีอัตราการทำแห้งที่ต่ำที่สุดคือ ขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่ทำแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ k ของการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สมการ Page

4.4 ผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อจลนพลศาสตร์การทำแห้งของขึ้นกระชายดำ

การทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ แต่จะแสดงตัวอย่างการทำแห้งกระชายดำ 1 ซ้ำของการทดลอง โดยในระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความเข้มรังสีอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 25 และภาพที่ 26 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากกว่าภายนอก ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (การตากแดด) โดยมีอุณหภูมิที่สูงที่สุดในช่วงบ่าย ซึ่งภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 41.5-62.4 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ย 54.54 องศาเซลเซียส ในขณะที่ภายนอกอบแห้ง มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.40-43.90 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ย 37.74 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นต่ำกว่าภายนอกอบแห้งโดยอยู่ในช่วงร้อยละ 12.9-44.5 ในขณะที่ภายนอกอบแห้งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์การทำแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 28.20-66.60 จึงส่งผลให้การทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเร็วกว่าการตากแดด เนื่องจากความชื้นจากขึ้นกระชายดำจะสามารถระเหยน้ำออกมาสู่ภายนอกได้ดีกว่าการตากแดด อีกทั้งในระหว่างการทำแห้งขึ้นกระชายดำนั้นความเข้มแสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันโดยจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากเวลา 09.00 น.จนถึงเวลา 13.00 น. จากนั้นจะค่อยๆลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแปรปรวนของความเข้มรังสีอาทิตย์ในการทดลองอาจเนื่องมาจากสภาพอากาศที่มีเมฆมากในบางช่วงเวลา (ภาพที่ 26) ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มรังสีอาทิตย์นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิ เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น โดยความเข้มรังสีอาทิตย์ ในช่วงเวลา 09.00 น. จนถึง 17.00 น. มีค่าอยู่ในช่วง 217.2-929.0 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 590.0 วัตต์ต่อตารางเมตร

การทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของกระชายดำทั้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนมีการระเหยน้ำที่สูงกว่าการตากแดด เนื่องจากภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าการตากแดด เมื่อขึ้นกระชายดำได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ (Radiation) และพลังงานความร้อนจากลมร้อนด้วยวิธีการพาความร้อน (Convection) ทำให้โมเลกุลของน้ำมีพลังงานจลน์มาก จนกระทั่งเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำจึงส่งผลให้น้ำระเหยได้ นอกจากนั้นในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าภายนอกอบแห้งหรือการตากแดด ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอบริเวณขึ้นกระชายดำกับความดันไอบริเวณอากาศสูง จึงเกิดการถ่ายเทมวลของน้ำจากขึ้นกระชายดำไปยังอากาศได้ดีขึ้น โดยการระเหยน้ำในช่วงแรกเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็วเนื่องจากช่วงแรกของการทำแห้งกระชายดำยังมีปริมาณความชื้นที่สูง จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับชิ้นกระชายดำได้มาก จากนั้นเริ่มมีการระเหยน้ำที่ต่ำลงจนกระทั่งคงที่เนื่องจากชิ้นกระชายดำมีปริมาณความชื้นที่ต่ำลง อุณหภูมิบนผิวของชิ้นกระชายดำนั้นมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศร้อน ชิ้นกระชายดำจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยน้ำจะลดต่ำลงเรื่อยๆ จนกระทั่งคงที่

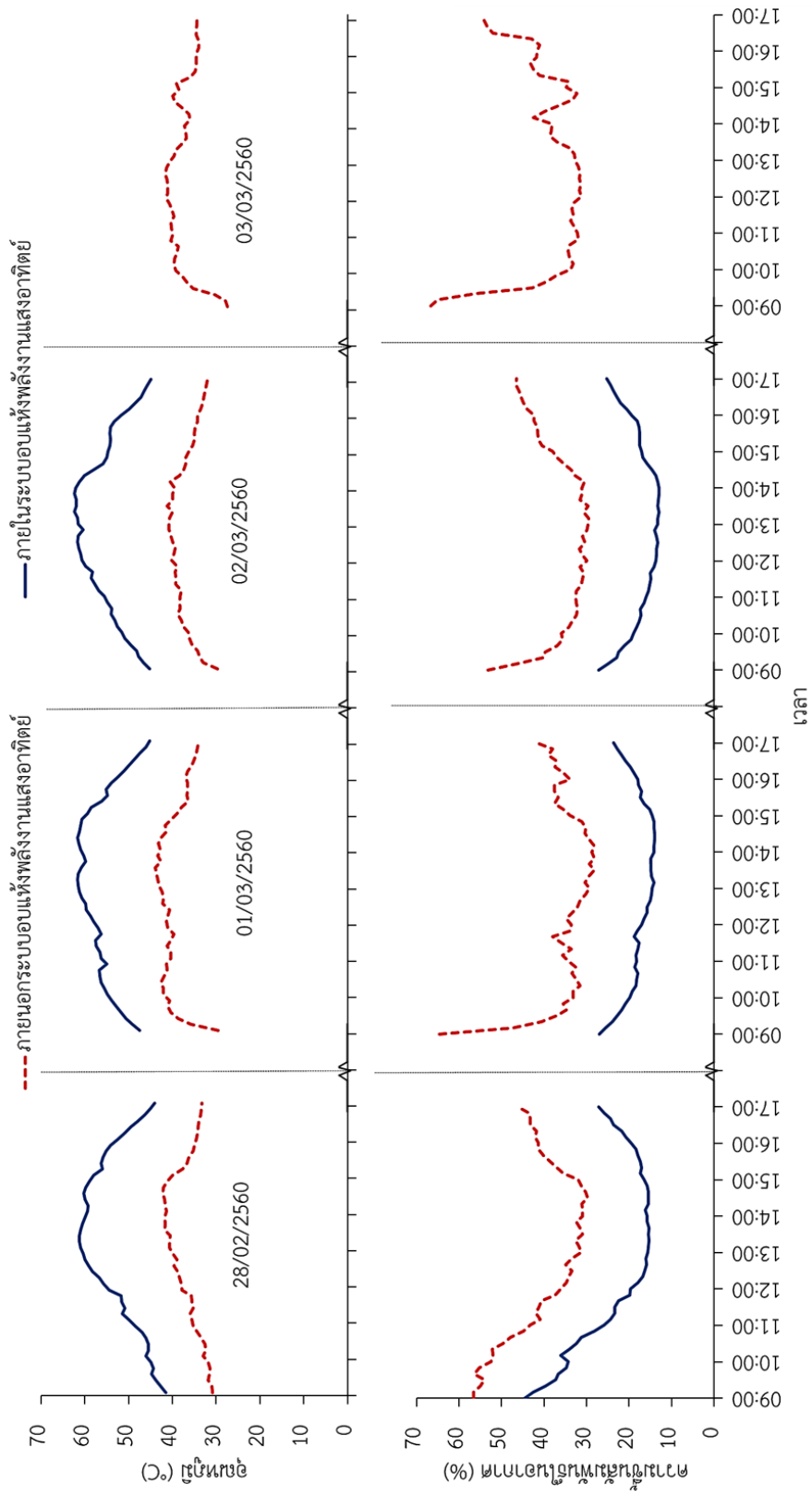
เมื่อพิจารณาระหว่างชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน ที่ผ่านการทำแห้งด้วยการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะพบว่า ในช่วงแรกของการทำแห้งชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนนั้นจะมีการระเหยน้ำได้เร็วกว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีการลดลงของปริมาณความชื้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากความร้อนจะไปทำให้พื้นผิวบนวัตถุดิบมีความอ่อนนุ่มลง โครงสร้างภายในเกิดรูพรุน เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์มากขึ้น จึงส่งผลให้มีการระเหยน้ำจากภายในสู่ภายนอกได้ดีกว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของการทำแห้งชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีการระเหยน้ำได้ช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนจะเกิดเจลลาตินซ์เซชันเกิดเป็นโครงสร้างเจล จึงส่งผลให้ช่วงท้ายของการทำแห้งนั้นมีการระเหยน้ำได้ช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แสดงภาพที่ 27

จากภาพที่ 28 แสดงอัตราการทำแห้งของชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด พบว่าการทำแห้งชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอัตราการทำแห้งที่สูงกว่าการตากแดด เนื่องจากภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีอุณหภูมิที่สูงและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ จึงส่งผลให้มีอัตราการระเหยของน้ำออกจากตัวอย่างต่อหน่วยเวลาของชิ้นกระชายดำสูงกว่าการตากแดด ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่สั้นกว่า แต่ในช่วงแรกจะพบอัตราการทำแห้งที่ลดลงเนื่องจากเวลาที่เริ่มการทำแห้งนั้นเป็นเวลา 09.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่อุณหภูมิภายในและภายนอกของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่สูงมาก และมีอัตราการทำแห้งสูงขึ้นช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิที่สูงที่สุดของการทำแห้ง และเริ่มลดลงในช่วงเวลา 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิลดลง (ภาพที่ 25)

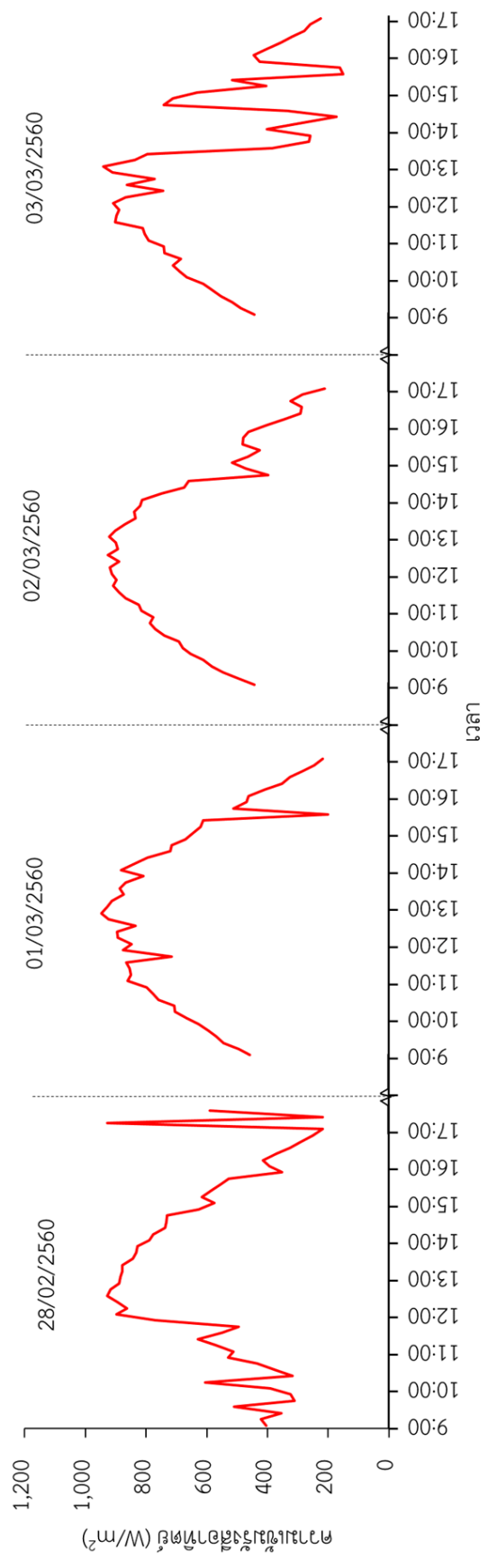
และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนกับชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนที่จะนำไปทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ พบว่าชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อน มีอัตราการทำแห้งสูงกว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงแรกของการทำแห้ง เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้พื้นผิวของวัตถุดิบมีความอ่อนนุ่ม เกิดเป็นโพรงขนาดใหญ่ จึงทำให้มี

การระเหยน้ำภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกได้ดีกว่า แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของการทำแห้งขึ้น กระจายต่ำ จะมีอัตราการทำแห้งที่ช้าลง เนื่องจากเกิดเจลาตินไนซ์เซชันของแป้งในกระจายต่ำ เกิดเป็นโครงสร้างเจลส่งผลให้มีการระเหยน้ำออกไปได้ช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับขึ้นกระจายต่ำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ทั้งในวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากการทำแห้งทั้งสองวิธีนี้จะ ขึ้นอยู่กับแสงแดด ณ เวลานั้น อาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิในขณะทำแห้งนั้น ไม่คงที่จึงส่งผลต่ออัตราการทำแห้งที่ไม่คงที่ แสดงดังภาพที่ 28

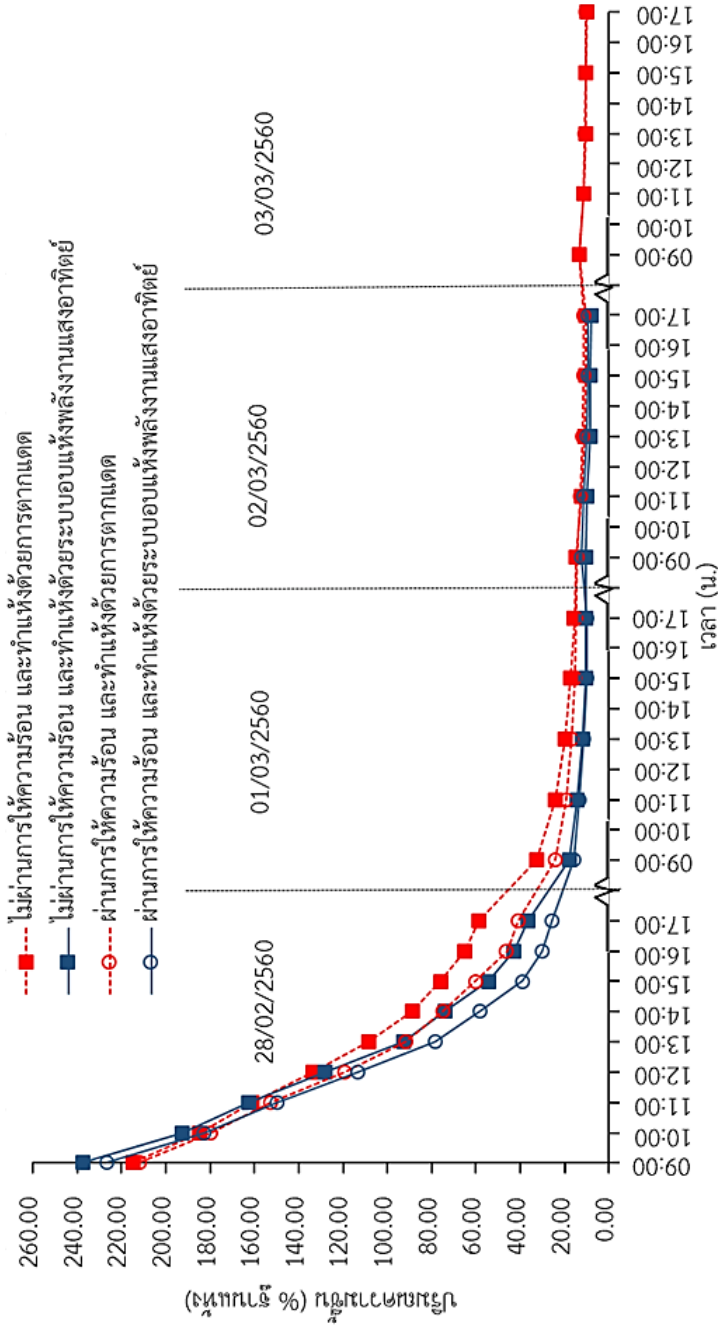




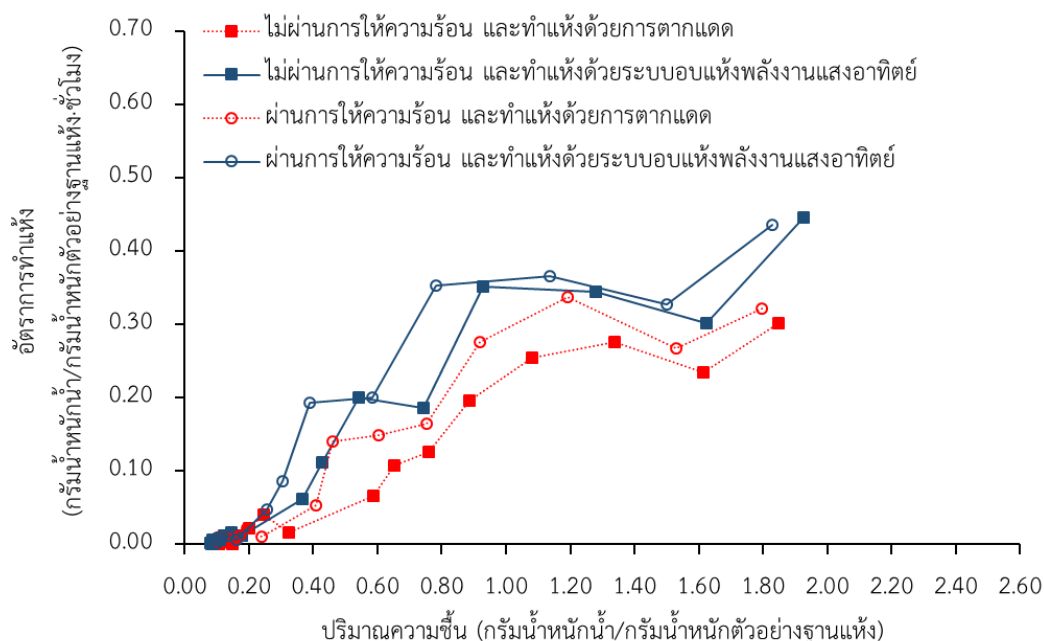
ภาพที่ 25 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งซึ่งมีการขยายตัวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 2



ภาพที่ 26 ความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างช่วงการทำแห้งชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 2
ชุดที่ 2



ภาพที่ 27 กราฟการทำแห้งของชิ้นกระดาษที่ยังไม่ผ่านการให้ควมร้อนและที่ผ่านการให้ควมร้อนก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองวันที่ 2 ซ้ำที่ 2













ภาพที่ 28 อัตราการทำแห้งของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 2

4.5 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบภาดต่อคุณภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ

4.5.1 ลักษณะปรากฏและค่าสี

การทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 29 พบว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเมื่อนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีสีม่วงซีดลง ในทุกๆอุณหภูมิ เนื่องจากการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินส์จากความร้อนและออกซิเจน และเมื่อพิจารณาในขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ นั้น มีสีม่วงอมน้ำเงินเนื่องจากการให้ความร้อนจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้แอนโทไซยานินส์ถูกปลดปล่อยออกมา ร่วมกับการทำแห้งนั้นจะเป็นการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ทำให้แอนโทไซยานินส์มีความเสถียรจากการเสื่อมสลายระหว่างการทำแห้ง (Yang และ Gadi, 2008) และยังสามารถเห็นได้ว่าลักษณะขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนหลังผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ขึ้นกระชายดำมีลักษณะที่หยาบกว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากความร้อนจะ

ไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดเป็นรูพรุน มีช่องว่างระหว่างเซลล์มากขึ้น ทำให้มีการระเหยน้ำในช่วงแรกอย่างรวดเร็ว จึงทำให้มีการหดตัวของชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อน

ก่อนการทำแห้ง	40°C	50°C	60°C	70°C
 ไม่ผ่านการให้ความร้อน เวลา (ชั่วโมง)	 42	 20	 11	 6
 ผ่านการให้ความร้อน เวลา (ชั่วโมง)	 46	 27	 15	 9

ภาพที่ 29 ลักษณะปรากฏชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์คุณภาพด้านสีของชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 11 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อค่า L^* และค่า Hue เพิ่มขึ้น ค่า a^* , b^* และ Chroma ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนการทำแห้ง และชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อค่า L^* , a^* , b^* , Chroma และ Hue ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนการทำแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีค่า L^* , a^* , b^* และ Chroma ที่ต่ำกว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แต่มีค่า Hue ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าชิ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ นั้นมีสีม่วงเข้มกว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

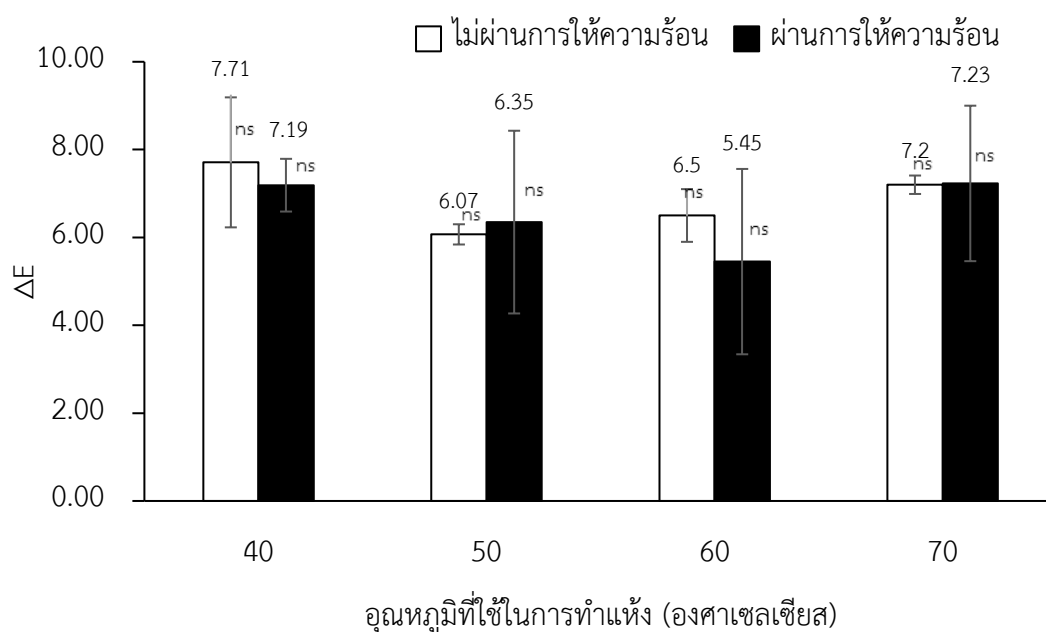
ตารางที่ 11 พารามิเตอร์คุณภาพด้านสีของชิ้นกระเพาะยัดที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	L*			a*			b*			Chroma			Hue	
	ก่อนการทำให้แห้ง	หลังการทำให้แห้ง	ก่อนการทำให้แห้ง	หลังการทำให้แห้ง	ก่อนการทำให้แห้ง	หลังการทำให้แห้ง	ก่อนการทำให้แห้ง	หลังการทำให้แห้ง	ก่อนการทำให้แห้ง	หลังการทำให้แห้ง	ก่อนการทำให้แห้ง	หลังการทำให้แห้ง	ก่อนการทำให้แห้ง	หลังการทำให้แห้ง
40	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	32.91 ± 0.27 ^{Aa}	40.21 ± 1.02 ^{Ba}	6.54 ± 0.08 ^{Aa}	5.21 ± 0.24 ^{Bb}	4.46 ± 0.05 ^{Aa}	2.43 ± 0.40 ^{Ba}	8.01 ± 0.09 ^{Aab}	5.83 ± 0.03 ^{Ba}	326.37 ± 0.02 ^{Ab}	335.37 ± 4.51 ^{Bd}			
	ผ่านการให้ความร้อน	29.05 ± 0.12 ^{Ab}	22.71 ± 0.65 ^{Bd}	6.32 ± 0.49 ^{Ab}	2.96 ± 0.85 ^{Bd}	0.19 ± 0.40 ^{Ac}	-0.06 ± 0.06 ^{Ae}	6.52 ± 0.37 ^{Ad}	3.19 ± 0.83 ^{Bd}	348.52 ± 3.72 ^{Aa}	341.43 ± 5.18 ^{Bab}			
50	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	31.89 ± 0.80 ^{Aa}	37.45 ± 0.35 ^{Bc}	6.09 ± 0.70 ^{Ab}	5.03 ± 0.36 ^{Bb}	3.83 ± 0.80 ^{Ab}	1.66 ± 0.46 ^{Bc}	7.28 ± 0.99 ^{Ac}	5.38 ± 0.46 ^{Bb}	328.79 ± 2.80 ^{Ab}	342.10 ± 3.47 ^{Bab}			
	ผ่านการให้ความร้อน	26.65 ± 0.28 ^{Ac}	20.99 ± 2.05 ^{Be}	5.65 ± 0.16 ^{Ac}	2.86 ± 0.23 ^{Bd}	-0.56 ± 0.62 ^{Ad}	-0.68 ± 0.75 ^{Af}	5.81 ± 0.22 ^{Ae}	3.10 ± 0.35 ^{Bd}	348.96 ± 2.47 ^{Aa}	340.26 ± 6.85 ^{Babcd}			
60	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	32.53 ± 0.14 ^{Aa}	38.68 ± 0.79 ^{Bb}	6.02 ± 0.74 ^{Abc}	5.23 ± 0.07 ^{Bb}	4.21 ± 0.89 ^{Ab}	2.31 ± 1.12 ^{Bab}	7.43 ± 1.11 ^{Aa}	5.86 ± 0.52 ^{Ba}	326.08 ± 2.77 ^{Ab}	337.09 ± 9.88 ^{Bcd}			
	ผ่านการให้ความร้อน	26.83 ± 0.24 ^{Ac}	22.14 ± 1.90 ^{Bde}	5.44 ± 0.27 ^{Ad}	2.85 ± 0.64 ^{Bd}	0.04 ± 0.38 ^{Ac}	0.50 ± 1.46 ^{Bd}	5.60 ± 0.31 ^{Ae}	3.16 ± 0.29 ^{Bd}	350.01 ± 0.38 ^{Aa}	339.68 ± 15.13 ^{Bbcd}			
70	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	32.52 ± 1.48 ^{Aa}	39.32 ± 1.15 ^{Bab}	6.29 ± 0.42 ^{Ab}	5.56 ± 0.19 ^{Ba}	4.19 ± 0.76 ^{Ab}	1.95 ± 0.49 ^{Bbc}	7.66 ± 0.80 ^{Abc}	5.99 ± 0.38 ^{Ba}	327.07 ± 2.86 ^{Ab}	340.68 ± 3.61 ^{Babc}			
	ผ่านการให้ความร้อน	28.24 ± 0.83 ^{Ab}	21.81 ± 1.14 ^{Bde}	6.59 ± 0.12 ^{Aa}	3.38 ± 0.17 ^{Bc}	0.27 ± 0.15 ^{Ac}	0.86 ± 0.06 ^{Bd}	6.77 ± 0.10 ^{Ad}	3.61 ± 0.18 ^{Bc}	348.80 ± 0.90 ^{Aa}	344.93 ± 1.99 ^{Ba}			

a, b, c ... หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

A และ B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพด้านสีของชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างของสีทั้งหมด (Total color different; ΔE) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อค่า ΔE ทั้งในชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน แสดงดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ผลของการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อค่า ΔE ของชิ้นกระชายดำอบแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิการทำแห้งเดียวกัน

4.5.2 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อปริมาณความชื้นแสดงดังตารางที่ 12 แต่ชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 9.24-9.87 ซึ่งมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้พบว่าชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนจากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของชิ้นกระชายดำจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะแตกต่างจากที่อุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในช่วง 0.552-0.567 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.65 ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์



ตารางที่ 12 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทีวิตีของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

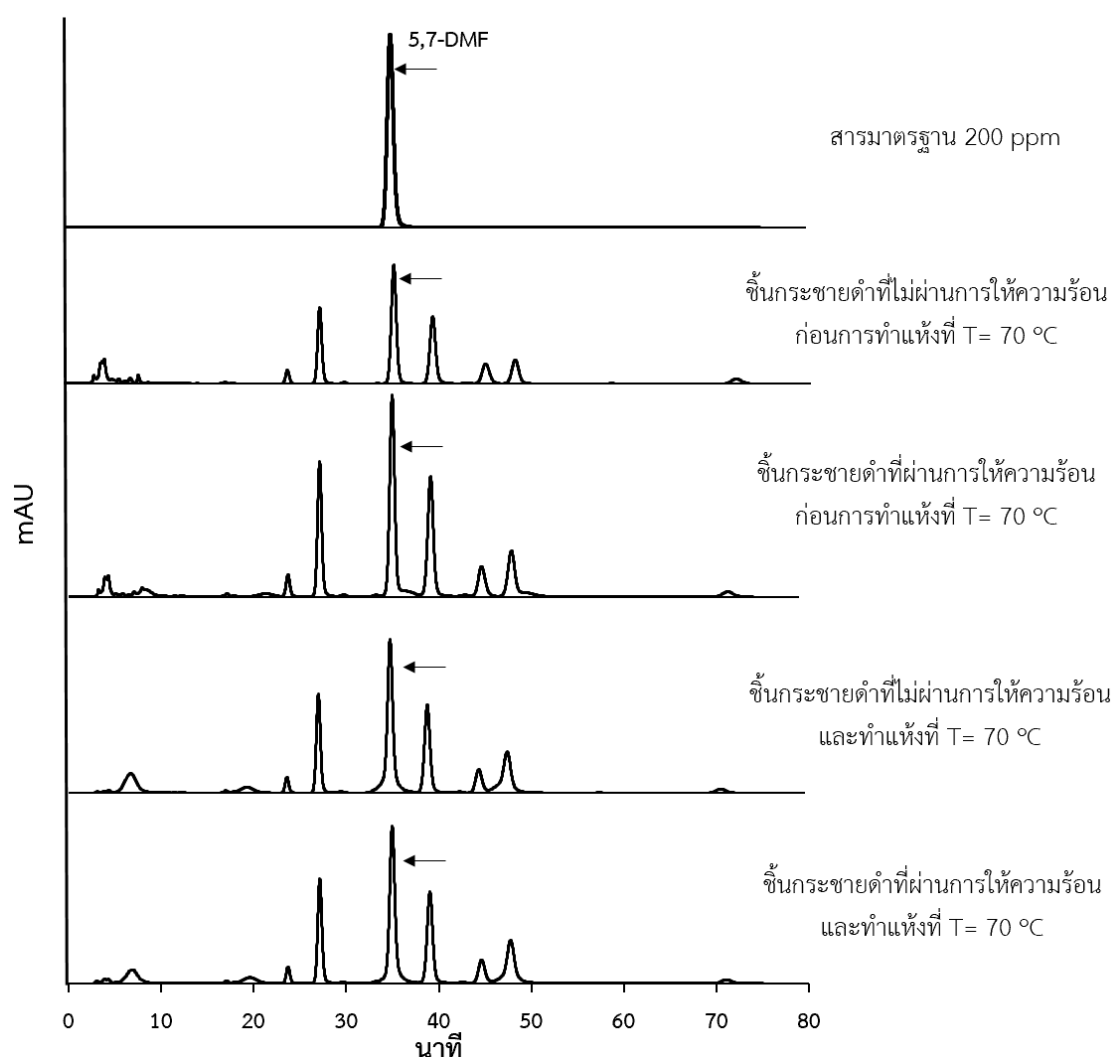
อุณหภูมิ (°C)	การเตรียมตัวอย่าง ก่อนการทำแห้ง	เวลาในการ การทำแห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (%) ฐานเปียก		วอเตอร์แอคทีวิตี	
			ก่อนการทำแห้ง ^{ns}	หลังการทำแห้ง	ก่อนการทำแห้ง ^{ns}	หลังการทำแห้ง
40	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	42	77.88±1.26	9.87±0.07 ^a	0.994±0.003	0.564±0.005 ^b
	ผ่านการให้ความร้อน	46	77.03±1.46	9.81±0.16 ^a	0.993±0.001	0.567±0.001 ^{ad}
50	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	20	73.33±2.70	9.47±0.15 ^{ab}	0.994±0.003	0.562±0.001 ^b
	ผ่านการให้ความร้อน	27	73.11±6.70	9.56±0.19 ^{ab}	0.993±0.000	0.564±0.001 ^{ab}
60	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	11	76.89±7.74	9.30±0.09 ^b	0.994±0.001	0.555±0.002 ^{cd}
	ผ่านการให้ความร้อน	15	73.64±5.61	9.50±0.06 ^{ab}	0.993±0.001	0.557±0.003 ^c
70	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	6	79.67±4.25	9.26±0.02 ^b	0.996±0.000	0.552±0.001 ^d
	ผ่านการให้ความร้อน	9	77.59±7.45	9.24±0.24 ^b	0.993±0.002	0.555±0.001 ^{cd}

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

a, b และ c หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

4.5.3 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone (5,7-DMF)

ตัวอย่างโครมาโตแกรมที่ได้จาก HPLC ของสารมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone และชิ้นกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบพีคของสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ที่ retention time 35.42 นาที แสดงดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 ตัวอย่างโครมาโตแกรม HPLC ของสารมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone และกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่น 260 nm

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งต่อปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone มีปริมาณเพิ่มขึ้นทั้งในชั้นกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทำแห้ง เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้การทำแห้งจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ จึงส่งผลให้สารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ถูกปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการสกัดเพิ่มมากขึ้น โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของชั้นกระดาษดำทั้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนซึ่งมีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ $1,778.79 \pm 60.38$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และ $1,799.14 \pm 34.75$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าชั้นกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนมีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การทำแห้งชั้นกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชั้นกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนมีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone เท่ากับร้อยละ 407.88 ± 88.93 และ 79.83 ± 19.55 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่ทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ ถาด

อุณหภูมิ (°C)	การเตรียมตัวอย่าง ก่อนการทำแห้ง	5,7-DMF (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)		% การเปลี่ยนแปลง Δ 5,7-DMF
		ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	
40	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	463.98 \pm 7.39 ^{Bd}	1,093.36 \pm 104.39 ^{Ac}	135.86 \pm 26.26 ^{cd}
	ผ่านการให้ความร้อน	1,292.65 \pm 17.04 ^{Ba}	1,404.72 \pm 32.98 ^{Ab}	8.66 \pm 1.12 ^e
50	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	463.40 \pm 8.69 ^{Bd}	1,444.59 \pm 31.72 ^{Ab}	211.85 \pm 12.70 ^{bc}
	ผ่านการให้ความร้อน	1,275.45 \pm 12.86 ^{Ba}	1,419.85 \pm 13.49 ^{Ab}	11.32 \pm 0.07 ^e
60	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	395.37 \pm 99.49 ^{Be}	1,155.38 \pm 31.54 ^{Ac}	250.74 \pm 3.01 ^b
	ผ่านการให้ความร้อน	1,074.82 \pm 44.70 ^{Bb}	1,493.74 \pm 34.28 ^{Ab}	39.16 \pm 8.98 ^e
70	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	354.64 \pm 50.21 ^{Be}	1,778.79 \pm 60.38 ^{Aa}	407.88 \pm 88.93 ^a
	ผ่านการให้ความร้อน	1,005.38 \pm 89.94 ^{Bc}	1,799.14 \pm 34.75 ^{Aa}	79.83 \pm 19.55 ^{ed}

a, b,c... หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

A และ B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

4.5.4 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ส่งผลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง โดยขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากกว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากความร้อนร่วมกับการทำแห้งไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้สารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone สารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟีนอลไกลโคไซด์ ในกระชายดำนั้นถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น จึงส่งผลให้มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อพิจารณาขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนจากการการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนั้นมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ แต่ในขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ นั้นมีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาร้อยละการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (ΔDPPH) ระหว่างขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 14



ตารางที่ 14 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยวิธี DPPH

อุณหภูมิ (°C)	การเตรียมตัวอย่าง ก่อนการทำแห้ง	DPPH		% การเปลี่ยนแปลง Δ DPPH ^{ns}
		(ไมโครโมลของ Trolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)		
		ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	
40	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	3,751.38 ± 33.73 ^{Bc}	4,654.22 ± 93.19 ^{Ac}	24.06 ± 1.37
	ผ่านการให้ความร้อน	4,058.87 ± 2.60 ^{Ba}	5,102.04 ± 7.26 ^{Aa}	25.70 ± 0.10
50	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	3,789.54 ± 40.34 ^{Bbc}	4,651.38 ± 60.78 ^{Ac}	22.74 ± 0.30
	ผ่านการให้ความร้อน	4,081.90 ± 88.44 ^{Ba}	5,122.64 ± 74.86 ^{Aa}	25.51 ± 0.89
60	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	3,848.31 ± 17.26 ^{Bb}	4,876.14 ± 162.14 ^{Ab}	26.70 ± 3.64
	ผ่านการให้ความร้อน	4,092.71 ± 56.54 ^{Ba}	5,212.40 ± 38.24 ^{Aa}	27.36 ± 0.83
70	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	3,800.78 ± 34.65 ^{Bbc}	4,670.53 ± 29.48 ^{Ac}	22.88 ± 0.34
	ผ่านการให้ความร้อน	4,038.79 ± 7.10 ^{Ba}	5,161.74 ± 33.93 ^{Aa}	27.81 ± 1.06

a, b และ c หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

^A และ ^B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP assay จะพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทำแห้ง โดยขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ส่วนใหญ่มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากกว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) แสดงดังตารางที่ 15

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี FRAP assay (Δ FRAP) ของขึ้น

กระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ แสดงดัง ตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยวิธี FRAP

อุณหภูมิ (°C)	การเตรียมตัวอย่าง ก่อนการทำแห้ง	FRAP		% การเปลี่ยนแปลง Δ FRAP ^{ns}
		ก่อนการทำแห้ง (ไมโครโมลของ FeSo ₄ ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	หลังการทำแห้ง	
40	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	18.04 ± 0.16 ^{Bc}	22.39 ± 0.84 ^{Ae}	24.19 ± 5.75
	ผ่านการให้ความร้อน	19.85 ± 0.02 ^{Ba}	24.65 ± 0.64 ^{Aabc}	24.21 ± 3.10
50	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	18.92 ± 0.64 ^{Bb}	23.90 ± 0.94 ^{Ac^d}	26.52 ± 9.27
	ผ่านการให้ความร้อน	19.76 ± 0.48 ^{Ba}	24.30 ± 0.35 ^{Aabcd}	23.03 ± 1.22
60	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	18.81 ± 0.17 ^{Bb}	23.44 ± 1.06 ^{Ad}	24.65 ± 6.80
	ผ่านการให้ความร้อน	20.11 ± 0.80 ^{Ba}	25.14 ± 0.58 ^{Aab}	25.06 ± 2.09
70	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	18.81 ± 0.19 ^{Bb}	24.07 ± 0.48 ^{Abcd}	27.97 ± 3.81
	ผ่านการให้ความร้อน	19.88 ± 0.47 ^{Ba}	25.22 ± 0.31 ^{Aa}	26.95 ± 4.56

a, b, c... หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

A และ B หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

4.6 ผลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขึ้นกระชายดำ

4.6.1 ลักษณะปรากฏและค่าสี

การทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดมีลักษณะปรากฏแสดงดังภาพที่ 32 พบว่าตัวอย่างแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยการตากแดดมีสีม่วงหายไป ลักษณะปรากฏของขึ้นกระชายดำเป็นสีน้ำตาลอ่อน จากการสลายตัวของแอนโทไซยานินส์เพราะแสง ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีสีม่วงที่อ่อนลงแต่ยังคงมีสีม่วงน่าจะเกิดจากระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการตากแดด ตัวอย่างถูกแสงแดดน้อยกว่า เนื่องจากแอนโทไซยานินส์เสื่อมสลายด้วยแสงยูวี สอดคล้องกับงานวิจัยของ He และคณะ (2015) ได้ศึกษาผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดจากมันฝรั่งหวานสีม่วงพบว่าสีม่วงของสารสกัดสลายตัวร้อยละ 30 หลังจากเก็บภายใต้แสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรเป็นระยะเวลา 4 วัน โดยการสลายตัวของสีม่วงมีความสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินส์ เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ค่าสี พบว่าวิธีการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อสีของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน พบว่าการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่า L^* , b^* และ Chroma ต่ำที่สุด ค่า a^* เป็นบวก และ ค่า Hue ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดแสดงดังตารางที่ 16 เนื่องจากการให้ความร้อนขึ้นกระชายดำก่อนการทำแห้งนั้นจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้แอนโทไซยานินส์ที่เป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงในกระชายดำนั้นถูกปลดปล่อยออกมาจึงทำให้มีสีม่วงเข้มมากขึ้น (Yang และ Gadi, 2008) ร่วมกับการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการใช้แผ่นโพลีคาร์บอนเนตที่มีการเคลือบสารป้องกันรังสียูวีทำให้รังสียูวีผ่านเข้าไปภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้น้อยจึงป้องกันการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินส์ไว้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดด โดยการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะได้ขึ้นกระชายดำอบแห้งที่มีสีม่วงเข้มที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ

	การตากแดด	ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ไม่ผ่านการให้ความร้อน		
ผ่านการให้ความร้อน		
	ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง

ภาพที่ 32 ชิ้นกระชายดำอบแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด



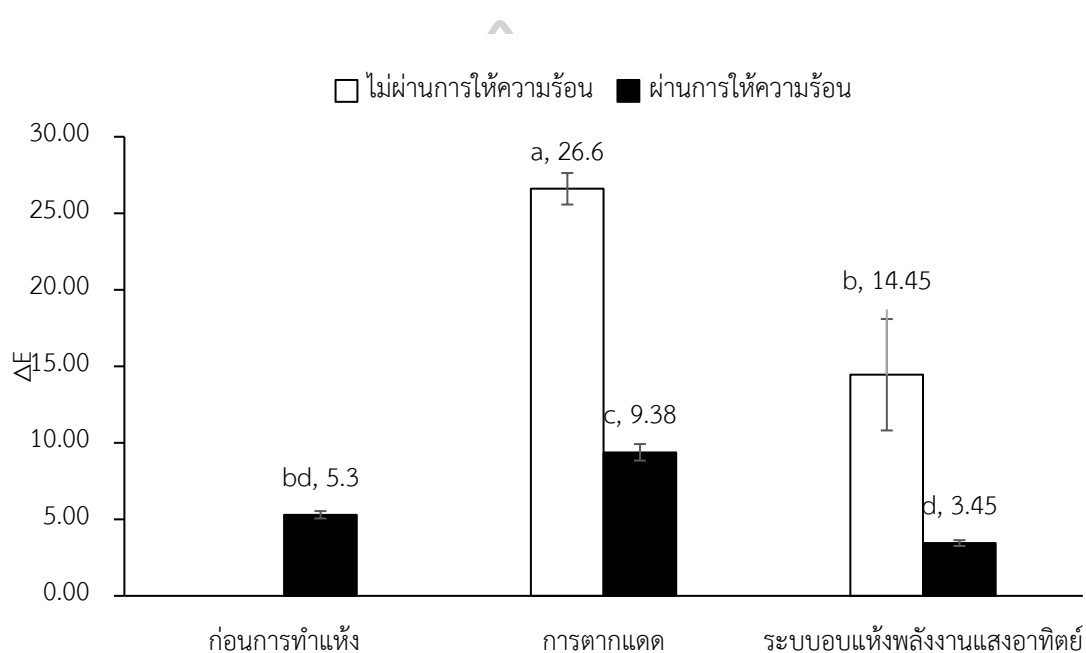
ตารางที่ 16 ค่าพารามิเตอร์คุณภาพด้านสีของกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการทำให้ความร้อนก่อนการทำแห้งและหลังการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทำแห้ง	L*			a*			b*			Chroma			Hue
	ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง
การตากแดด	29.17 ± 1.46 ^{Ba}	52.23 ± 2.55 ^{Aa}	5.26 ± 0.14 ^{Ab}	5.26 ± 0.35 ^{Aa}	0.08 ± 1.09 ^{Ba}	13.43 ± 1.45 ^{Aa}	5.63 ± 0.05 ^{Bc}	14.46 ± 1.22 ^{Aa}	342.53 ± 5.36 ^A	342.53 ± 5.36 ^A	291.64 ± 3.41 ^{Bd}		
ระบบอบแห้ง	24.72 ± 1.33 ^{Bb}	29.60 ± 2.36 ^{Ac}	6.44 ± 0.14 ^{Ab}	3.69 ± 0.31 ^{Bb}	-2.31 ± 0.96 ^{Bb}	4.44 ± 1.77 ^{Ab}	6.98 ± 0.14 ^{Ab}	6.08 ± 1.61 ^{Bc}	340.27 ± 8.08 ^A	340.27 ± 8.08 ^A	311.10 ± 11.98 ^{Bc}		
พลังงานแสงอาทิตย์	29.17 ± 1.46 ^{Ba}	43.30 ± 4.96 ^{Ab}	5.26 ± 0.14 ^{Ab}	5.43 ± 0.15 ^{Ba}	0.08 ± 1.09 ^{Ba}	3.21 ± 2.43 ^{Ac}	5.63 ± 0.05 ^{Bc}	6.82 ± 0.86 ^{Ab}	342.53 ± 5.36 ^A	342.53 ± 5.36 ^A	326.67 ± 10.57 ^{Bb}		
	24.72 ± 1.33 ^{Bb}	25.18 ± 0.92 ^{Ad}	6.44 ± 0.14 ^{Ab}	4.36 ± 0.14 ^{Bb}	-2.31 ± 0.96 ^{Bb}	-0.72 ± 0.54 ^{Ad}	6.98 ± 0.14 ^{Ab}	4.65 ± 0.08 ^{Bd}	340.27 ± 8.08 ^A	340.27 ± 8.08 ^A	339.80 ± 7.62 ^{Aa}		

a, b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

A และ B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

วิธีการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่า ΔE ของชั้นกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน พบว่าระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่า ΔE ที่น้อยกว่าการตากแดด ทั้งในชั้นกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากสีม่วงในกระดาษดำนั้นเป็นสีของแอนโทไซยานินส์ ซึ่งแอนโทไซยานินส์นั้นไวต่อรังสียูวีที่พบในการตากแดด จึงทำให้เมื่อกระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยการตากแดดนั้น มีค่า ΔE ที่มากกว่ากระดาษดำที่ไม่ผ่านการให้ผ่านการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 33



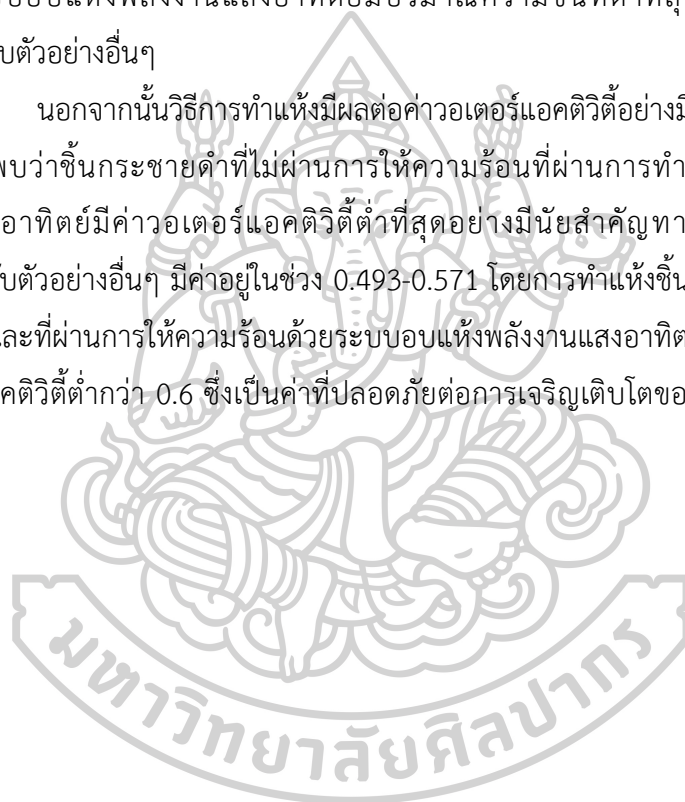
ภาพที่ 33 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ ต่อค่า ΔE ของชั้นกระดาษดำอบแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อน

a, b, c,... หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เปรียบเทียบในทุกสภาวะ

4.6.2 ปริมาณความชื้นและค่าออเตอร์แอกติวิตี้

จากตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่เร็วกว่าการตากแดดเนื่องจากการตากแดดนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง และอุณหภูมิความร้อนต่ำกว่าในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แต่จะเห็นว่าขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนจะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่นานกว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยวิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุดคือ 8.73 ± 0.17 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ

นอกจากนั้นวิธีการทำแห้งมีผลต่อค่าออเตอร์แอกติวิตี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าออเตอร์แอกติวิตี้ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.493-0.571 โดยการทำแห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดนั้นมีความออเตอร์แอกติวิตี้ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 17



ตารางที่ 17 ปริมาณความชื้นและค่าเทอร์มอดรรชนีที่ของกระษายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งด้วยการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทำแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง	เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (% ฐานเปียก)		ค่าเทอร์มอดรรชนี	
			ก่อนการทำแห้ง ^{ns}	หลังการทำแห้ง	ก่อนทำแห้ง ^{ns}	หลังการทำแห้ง
การตากแดด	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	74	71.86 ± 6.76	9.21 ± 0.57 ^b	0.979 ± 0.006	0.553 ± 0.018 ^b
	ผ่านการให้ความร้อน	76	68.93 ± 3.19	9.92 ± 0.19 ^a	0.982 ± 0.010	0.571 ± 0.006 ^a
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	30	71.86 ± 6.76	8.73 ± 0.17 ^c	0.979 ± 0.006	0.493 ± 0.004 ^d
	ผ่านการให้ความร้อน	32	68.93 ± 3.19	9.69 ± 0.04 ^{ab}	0.982 ± 0.010	0.561 ± 0.007 ^{bc}

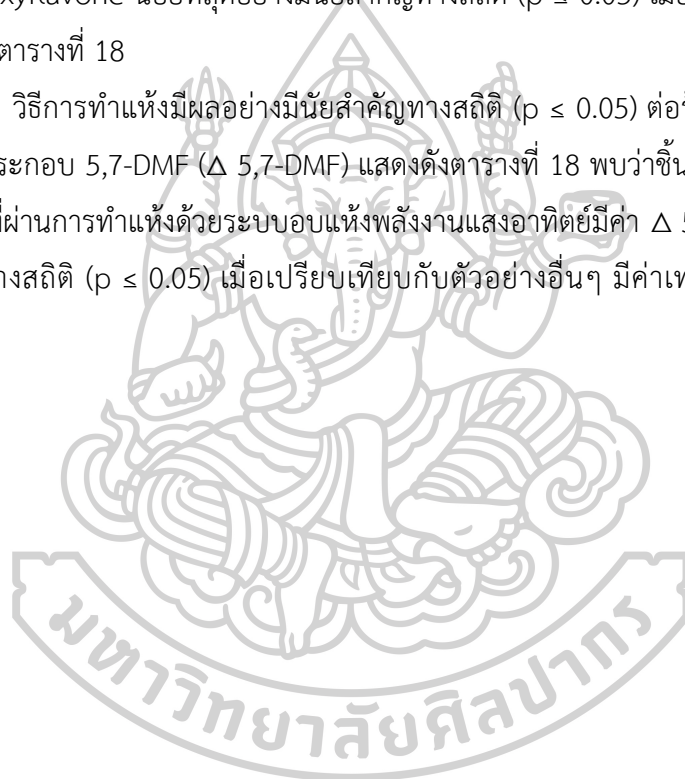
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

a, b หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

4.6.3 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone (5,7-DMF)

วิธีการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone พบว่าหลังการทำแห้งด้วยวิธีการต่างๆ ของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone เพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำแห้งจะไปทำลายผนังเซลล์ทำให้สารประกอบฟีนอลถูกปลดปล่อยออกมา จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดได้มากยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาขึ้นกระชายดำที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ พบว่าการทำแห้งด้วยวิธีตากแดดของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 18

วิธีการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ 5,7-DMF (Δ 5,7-DMF) แสดงดังตารางที่ 18 พบว่าขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่า Δ 5,7-DMF มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ มีค่าเท่ากับร้อยละ 231.04 ± 11.38



ตารางที่ 18 ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนที่ทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทำแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง	5,7-DMF (มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง)		% การเปลี่ยนแปลง Δ 5,7-DMF
		ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	
การตากแดด	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	387.62 \pm 1.59 ^{Ba}	1,181.73 \pm 32.87 ^{Ab}	205.12 \pm 9.25 ^b
	ผ่านการให้ความร้อน	1,007.68 \pm 11.65 ^{Bb}	1,288.98 \pm 9.91 ^{Aa}	28.01 \pm 2.53 ^c
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	387.62 \pm 1.59 ^{Ba}	1,283.36 \pm 48.77 ^{Aa}	231.04 \pm 11.38 ^a
	ผ่านการให้ความร้อน	1,007.68 \pm 11.65 ^{Bb}	1,282.64 \pm 58.36 ^{Aa}	27.30 \pm 7.19 ^c

^{a, b} และ ^c หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

^A และ ^B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน



4.6.4 ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH พบว่าวิธีการทำแห้ง มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่า DPPH จะเห็นว่าวิธีการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดด และระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลให้ ค่า DPPH เพิ่มขึ้น ทั้งในชั้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนนั้นจะปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลออกมาจากเซลล์ที่ถูกทำลาย จึงส่งผลให้การสกัดมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น โดยการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำแห้งชั้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่า DPPH มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 19

เมื่อพิจารณาค่า Δ DPPH พบว่า วิธีการทำแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อค่า Δ DPPH ของชั้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ปริมาณความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์วิธี DPPH

วิธีการทำแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง	DPPH		% การเปลี่ยนแปลง Δ DPPH ^{ns}
		ไมโครโมลของ Trolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ก่อนการทำแห้ง	ไมโครโมลของ Trolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง หลังการทำแห้ง	
การตากแดด	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	3,419.49 ± 93.26 ^{Ba}	4,375.77 ± 170.31 ^{Ad}	28.14 ± 8.49
	ผ่านการให้ความร้อน	4,104.51 ± 141.89 ^{Bb}	5,177.16 ± 228.07 ^{Ab}	26.17 ± 1.20
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	3,419.49 ± 93.26 ^{Ba}	4,641.95 ± 14.86 ^{Ac}	35.89 ± 4.28
	ผ่านการให้ความร้อน	4,104.51 ± 141.89 ^{Bb}	5,475.84 ± 269.29 ^{Aa}	33.46 ± 1.86

a, b,c... หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

^A และ ^B หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เปรียบเทียบในแถวเดียวกัน

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP จะพบว่าวิธีการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นกระชายดำก่อนการทำแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับวิธี DPPH เมื่อพิจารณาหลังการทำแห้งพบว่าวิธีการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในชั้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าในชั้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน แสดงดังตารางที่ 20

วิธีการทำแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Δ FRAP) ของชั้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ปริมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนและหลังการทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดและระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์วิธี FRAP

วิธีการทำแห้ง	การเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง	FRAP (ไมโครโมลของ FeSO_4 ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)		% การเปลี่ยนแปลง Δ FRAP ^{ns}
		ก่อนการทำแห้ง	หลังการทำแห้ง	
การตากแดด	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	15.82 ± 0.33 ^{Ba}	20.96 ± 1.23 ^{Ab}	32.53 ± 10.63
	ผ่านการให้ความร้อน	19.85 ± 2.04 ^{Bb}	24.94 ± 0.48 ^{Aa}	26.19 ± 10.52
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	15.82 ± 0.33 ^{Ba}	21.96 ± 0.95 ^{Ab}	38.76 ± 9.00
	ผ่านการให้ความร้อน	19.85 ± 2.04 ^{Bb}	25.28 ± 0.75 ^{Aa}	27.86 ± 9.28

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

^{a, b} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การให้ความร้อนแห้งกระชายดำมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าสี ปริมาณความชื้น ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน พบว่าการให้ความร้อนแห้งกระชายดำทำให้ขึ้นกระชายดำมีสีม่วงเข้มขึ้น โดยมีค่า L^* , b^* และ Hue เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่า a^* และ Chroma และทำให้ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันทั้งวิธี DPPH และ FRAP มีปริมาณสูงขึ้น ในขณะที่ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่ออัตราการแห้ง โดยการทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้มีอัตราการแห้งสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสภาวะการทำแห้งที่มีอัตราการแห้งต่ำที่สุด ได้แก่ การทำให้แห้งขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการทำแห้ง 46 ชั่วโมง และสภาวะที่แห้งได้เร็วที่สุดคือ การทำให้แห้งขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการทำแห้ง 6 ชั่วโมง โดยการทำนายจลนพลศาสตร์การทำแห้งขึ้นกระชายดำด้วยสมการ Page สามารถทำนายพฤติกรรมการทำแห้งของกระชายดำได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงที่สุด และค่า RMSE ที่ต่ำที่สุด
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ต่อค่า ΔE ของขึ้นกระชายดำแห้งทั้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนนำไปทำแห้ง แต่วิธีการทำให้แห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่า ΔE ของขึ้นกระชายดำแห้งทั้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อน โดยการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของขึ้นกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนนำไปทำแห้งมีค่า ΔE น้อยที่สุด
4. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งและวิธีการทำให้แห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของขึ้นกระชายดำแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้ง แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone ของขึ้นกระชายดำแห้งที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้ง พบว่าการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสของขึ้นกระชายดำแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งมีค่าร้อยละการ

เปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ 5,7- dimethoxyflavone มากที่สุด คือ ร้อยละ 407.88 ± 88.93 และ 79.83 ± 19.55 ตามลำดับ ส่วนการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของชิ้น กระจายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone มากที่สุด คือร้อยละ 231.04 ± 11.38

5. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งและวิธีการทำแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของชิ้น กระจายดำแห้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนก่อนนำไปทำแห้ง

6. สภาพการทำแห้งที่แนะนำการทำแห้งกระจายดำหนา 0.5 เซนติเมตร ได้แก่การทำแห้งชิ้นกระจายดำที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีม่วงเข้ม มีปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone มากที่สุด มีความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันมาก และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่สั้น แต่มีค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำแห้งกระจายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งนั้น ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีม่วงเข้ม และยังคงรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้แก่ ปริมาณสารประกอบ 5,7-dimethoxyflavone และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันในกระจายดำอบแห้งได้ใกล้เคียงกับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกจึงเหมาะสมกับการทำแห้งกระจายดำที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้ง



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

สมการที่ใช้ในการทำแห้ง

1. การหาปริมาณความชื้น (ฐานเปียก)

$$MC_{wb} = 100 \times \left(1 + \frac{W_f}{W_t} \left(\frac{MC_f}{100-1} \right) \right) \quad (4)$$

เมื่อ MC_{wb} คือ ปริมาณความชื้นฐานเปียก
 W_f คือ น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)
 W_t คือ น้ำหนักที่เวลา t (กรัม)
 MC_f คือ ความชื้นสุดท้าย (เปอร์เซ็นต์)

2. การหาปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง)

$$MC_{db} = 100 \times \left(\frac{MC_t}{100-MC_t} \right) \quad (5)$$

เมื่อ MC_{db} คือ ปริมาณความชื้นฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์)
 MC_t คือ ความชื้นที่เวลา t (เปอร์เซ็นต์)



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพและทางเคมี

1. การวัดค่าสี

ในการวัดแต่ละครั้งแสดงผลเป็นค่า L^* , a^* , b^* , chroma และ hue angle โดยวัดทั้งตัวอย่าง เนื้อชิ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการนึ่ง (สด) เนื้อกระชายดำที่ผ่านการนึ่ง และตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้งทุกชิ้น สุ่มวัดชิ้นละ 3 ตำแหน่ง และนำมาคำนวณค่า chroma ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงถึงความอิ่มตัวของสี ค่า hue angle ซึ่งเป็นตัวเลขที่ระบุว่ามีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟ และค่าความแตกต่างสี (total color difference; ΔE) ตามสมการ (6), (7) และ (8)

$$\text{chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

$$\text{hue angle} = \tan^{-1} \cdot \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (7)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (8)$$

เมื่อ hue angle = $0^\circ - 45^\circ$	แสดงว่าเป็นสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง
hue angle = $45^\circ - 90^\circ$	แสดงว่าเป็นสีน้ำเงินถึงสีส้มแดงถึงสีเหลือง
hue angle = $90^\circ - 135^\circ$	แสดงว่าเป็นสีเหลืองถึงเหลืองเขียว
hue angle = $135^\circ - 180^\circ$	แสดงว่าเป็นสีเหลืองเขียวถึงเขียว
hue angle = $180^\circ - 225^\circ$	แสดงว่าเป็นสีเขียวถึงสีน้ำเงิน
hue angle = $225^\circ - 270^\circ$	แสดงว่าเป็นสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน
hue angle = $270^\circ - 315^\circ$	แสดงว่าเป็นสีน้ำเงินถึงสีม่วง
hue angle = $315^\circ - 360^\circ$	แสดงว่าเป็นสีม่วงถึงม่วงแดง

2. การวิเคราะห์ความชื้นด้วยวิธี Hot air oven (AOAC, 1999)

1. อบกระป๋องหาความชื้นพร้อมฝาที่ตุ๋นบลมร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำออกจากตุ๋นใส่โถดูดความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำมาชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นประมาณ 2 กรัม ใส่กระป๋องหาความชื้นที่อบจนน้ำหนักคงที่แล้ว บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง

3. นำไปอบที่ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105± องศาเซลเซียส 2 นาน 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมกับตัวอย่าง

4. อบซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

$$MC(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ	MC	หมายถึง	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
	W_i	หมายถึง	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
	W_f	หมายถึง	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี

วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี นำตัวอย่างสดและแห้งที่บั่นละเอียด โดยใช้ประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ที่บรรจุตัวอย่างลงในช่องใส่ตัวอย่าง และวางหัววัดลงด้านบนของช่องใส่ตัวอย่าง รอจนกระทั่งเครื่องประมวลผลเสร็จ จะส่งสัญญาณดัง จึงสามารถบันทึกผลที่ได้จากเครื่อง โดยควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4. การวิเคราะห์ปริมาณ 5,7 dimethoxyflavone ด้วยวิธี HPLC (ดัดแปลงจาก Thao และคณะ, 2016)

การสกัดตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างกระชายดำสดทั้งที่ผ่านการนึ่งและไม่นึ่งมาบั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม จากนั้น ชั่งตัวอย่างน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง โดย ตัวอย่างสด 1.0013 ± 0.0012 กรัม และตัวอย่างแห้ง 0.1008 ± 0.0006 กรัม ใส่ในขวดสีชา ขนาด มิลลิลิตร 10

2. เติมนเมทานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปในขวดสีชา จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic เป็นเวลา 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 30 ± 2 องศาเซลเซียส

3. กรองสารสกัดด้วยกระดาษ whatman no.4 ลงในขวดปรับปริมาตร มิลลิลิตร และ 25 ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 25 มิลลิลิตร

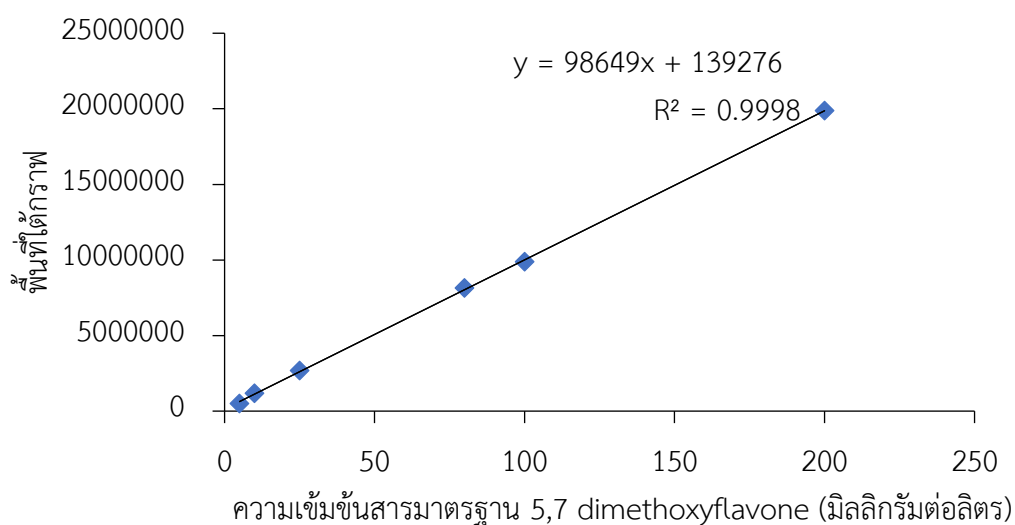
4. นำสารสกัดที่ได้มากรองผ่าน nylon filter $0.45 \mu\text{m}$ ใส่ในขวดสีชาขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ต่อไป

การเตรียมสารมาตรฐาน 5,7 dimethoxyflavone

ชั่งสารมาตรฐาน 5,7 dimethoxyflavone ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง จำนวน 10 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ละลายสารมาตรฐาน 5,7 dimethoxyflavone ด้วยเมทานอลเป็น 10 มิลลิตรในขวดปรับปริมาตร จะให้ความเข้มข้น 1,000 ppm ทำการเจือจางสารมาตรฐานที่เตรียมไว้โดยการไม่โครปิเปต มา 2.5, 2, 1, 0.8 และ 0.5 มิลลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอล ให้ครบ 5 มิลลิตร จะให้ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 5,7 dimethoxyflavone 200, 100, 80, 50, 25, 10 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 21 และกราฟสารมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ดังภาพที่ 34

ตารางที่ 21 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ที่ความเข้มข้นต่างๆ

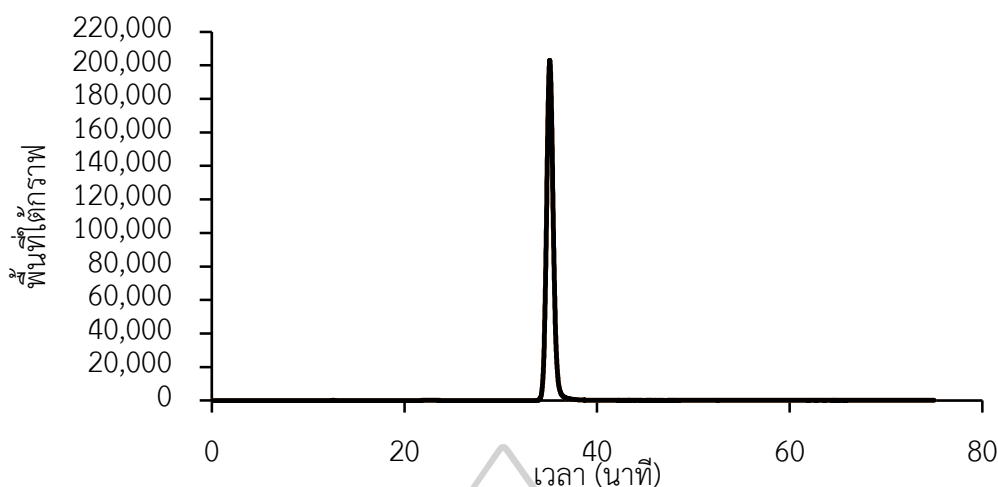
ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาตรสารมาตรฐาน (มิลลิตร)	เมทานอล (มิลลิตร)
5	0.05	4.95
10	0.25	4.75
25	0.5	4.5
50	0.8	4.2
80	1	4
200	2	3



ภาพที่ 34 กราฟมาตรฐาน 5,7 dimethoxyflavone

ตารางที่ 22 สภาวะที่ใช้งานสำหรับเครื่อง HPLC

ตัวแปร	สภาวะที่เหมาะสม
คอลัมน์	C18; 5 μ m, 4.6x250 mm
ประเภทของเครื่องตรวจวัด	Photo diode array detector
ความยาวคลื่นที่ตรวจวัด	260 นาโนเมตร (nm)
อุณหภูมิคอลัมน์	40 องศาเซลเซียส
ปริมาตรของสารที่ฉีดเข้าเครื่อง	10 ไมโครลิตร (μ l)
อัตราการไหล	0.6 มิลลิลิตรต่อนาที (mL/min)
ระยะเวลาในการฉีด	75 นาที (min)
สัดส่วนของเฟสเคลื่อนที่	เมทานอลต่อ 1% กรดอะซิติก (60:40)



ภาพที่ 35 โครมาโตแกรมของ 5,7-dimethoxyflavone

5. การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การเตรียมสารสกัด (ดัดแปลงจาก Sakong และคณะ, 2011)

- นำตัวอย่างทั้งสดมาปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียด จากนั้นชั่งตัวอย่างสด ประมาณ 3.0011 ± 0.0021 กรัม และตัวอย่างแห้ง 0.5006 ± 0.0004 กรัม ลงในหลอดพลาสติก ขนาด มิลลิลิตร 50
- จากนั้นเติมสารละลาย 70 เอทานอล ปริมาตร %10 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าให้เข้ากัน ด้วยเครื่องเขย่า (vortex) นาน นาที 5
- นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 6,000rpm นาน 15 นาที จากนั้นกรองสารสกัดผ่านกระดาษกรอง whatman no.4 ลงในขวดปรับปริมาตร มิลลิลิตร 50
- นำส่วนที่เหลือไปทำการสกัดอีก 2 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อนำสารสกัดไปวิเคราะห์ต่อไป

การเตรียมสารละลาย

- เตรียม DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl) มีความเข้มข้น 6×10^{-5} โมลาร์ ชั่ง DPPH จำนวน 0.0118 กรัม ในปิกรเกอร์ขนาดเล็ก จากนั้นเติมเมทานอลเพื่อละลายสาร DPPH แล้วค่อยๆ คนให้สารละลาย แล้วเทใส่ขวดปริมาตร 500 มิลลิลิตร (ที่ห่อหุ้มด้วยพลาสติกสีดำเพื่อป้องกันแสง) เติมเมทานอลเพิ่มเพื่อละลายสารในปิกรเกอร์จนหมด แล้วเทเพิ่มลงในขวดปริมาตร 500 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้ครบ 500 มิลลิลิตร

การเตรียมสารมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox ที่มีความเข้มข้นต่างๆ 0-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งสาร Trolox 0.05 กรัม ละลายด้วย 70% เมทานอล ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการเจือจางสารมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ Trolox (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาตร Trolox (ไมโครลิตร)	ปริมาตร 70% เมทานอล (ไมโครลิตร)
0	0	10
50	1	9
100	2	8
150	3	7
200	4	6
250	5	5

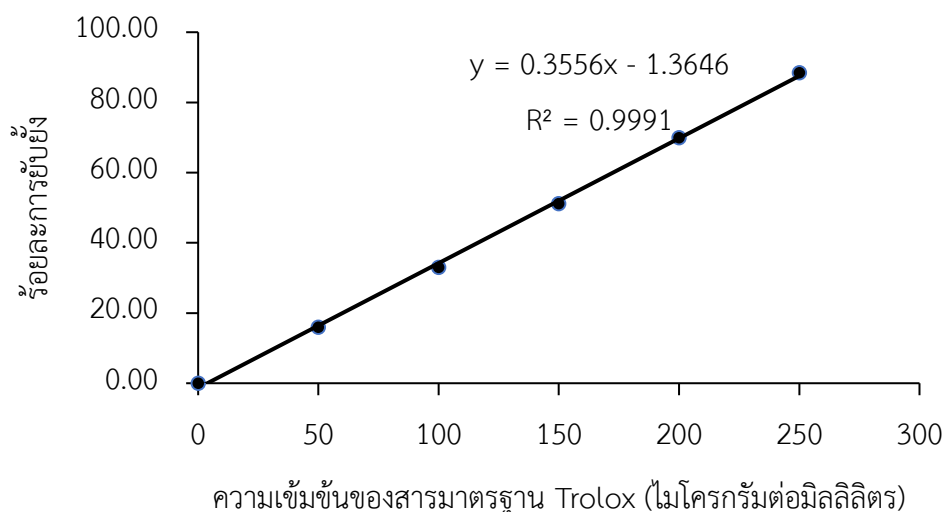
2. ปิเปตสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายมาตรฐาน Trolox ปริมาตร แต่ละความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า (vortex) นาน 5 วินาที จากนั้นนำไปเก็บไว้ในที่มืดเพื่อทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

3. สำหรับหลอดควบคุมใช้ 70%เมทานอล ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร แทนสารละลายมาตรฐาน Trolox ส่วน blank จะใช้ 70%เมทานอล ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร

4. คำนวณหาร้อยละการยับยั้ง (% inhibition) จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของการยับยั้ง} = \left[\frac{A_{517 \text{ control}} - A_{517 \text{ sample}}}{A_{517 \text{ control}}} \right] \times 100$$

5. นำร้อยละของการยับยั้ง คำนวณได้ของแต่ละของการยับยั้ง และความเข้มข้นไปเขียนกราฟมาตรฐานต่อไปนี้



ภาพที่ 36 กราฟมาตรฐานสารละลาย Trolox

6. การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay

การเตรียมสารสกัด

ใช้สารสกัดที่ได้จากข้อ 5

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ ที่มีความเข้มข้น 300 โมลาร์ pH 3.6

ชั่งสาร sodium acetate trihydrate ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 3.1 กรัม ละลายในกรดอะซิติก ปริมาตร 16 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ตรวจสอบค่าพีเอชและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

เตรียมกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยการปิเปตกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 8.3 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร เจอจางให้มีความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ปริมาตร 40 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3. สารละลาย TPTZ (2,4,6-tri[2-pyridyl]-s-triazine) ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิ

โมลาร์

ชั่ง TPTZ จำนวน 0.0312 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นค่อยๆ ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในอ่าง ควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร (เตรียมใหม่ทุกครั้ง)

4. สารละลายไอร์ออนคลอไรด์ (FeCl_2) ที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

ชั่งไอร์ออนคลอไรด์ ($\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.054 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร (เตรียมใหม่ทุกครั้ง)

การเตรียม FRAP reagent

ผสมสารละลายอะซิเตดบัฟเฟอร์ ที่มีความเข้มข้น 300 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กับสารละลาย TPTZ ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร สารละลาย ไอร์ออนคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ผสมให้เข้ากัน และนำไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส FRAP reagent ควรมีสีฟางข้าว ถ้า สารละลายที่ผสมเป็นสีฟ้า หรือสีฟ้าจาง ให้เททิ้งและล้างขวดด้วยน้ำปราศจากไอร์ออน ในการ วิเคราะห์ต้องเตรียม FRAP reagent ใหม่ทุกครั้ง

5. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ที่มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์

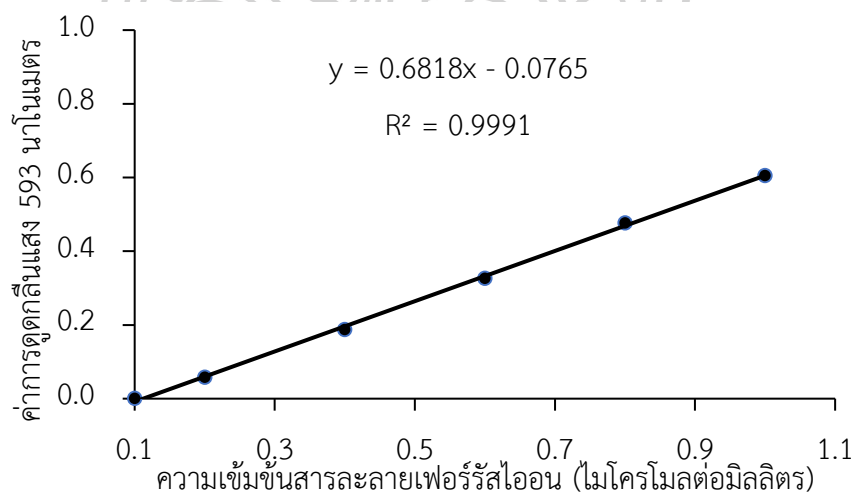
ชั่งเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.1390 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดปรับ ปริมาตรและเจือจางสารมาตรฐานให้มีความเข้มข้นดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 การเตรียมสารมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต มีความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (ไมโครโมลต่อมิลลิตร)	ปริมาตร FeSO ₄ ·7H ₂ O (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
0	0	10
0.1	1	9
0.2	2	8
0.4	4	6
0.6	6	4
0.8	8	2
10.0	10	0

6. เตรียมกราฟมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate standard curve)

ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นเติม FRAP reagent ปริมาตร 3.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่น เป็น blank



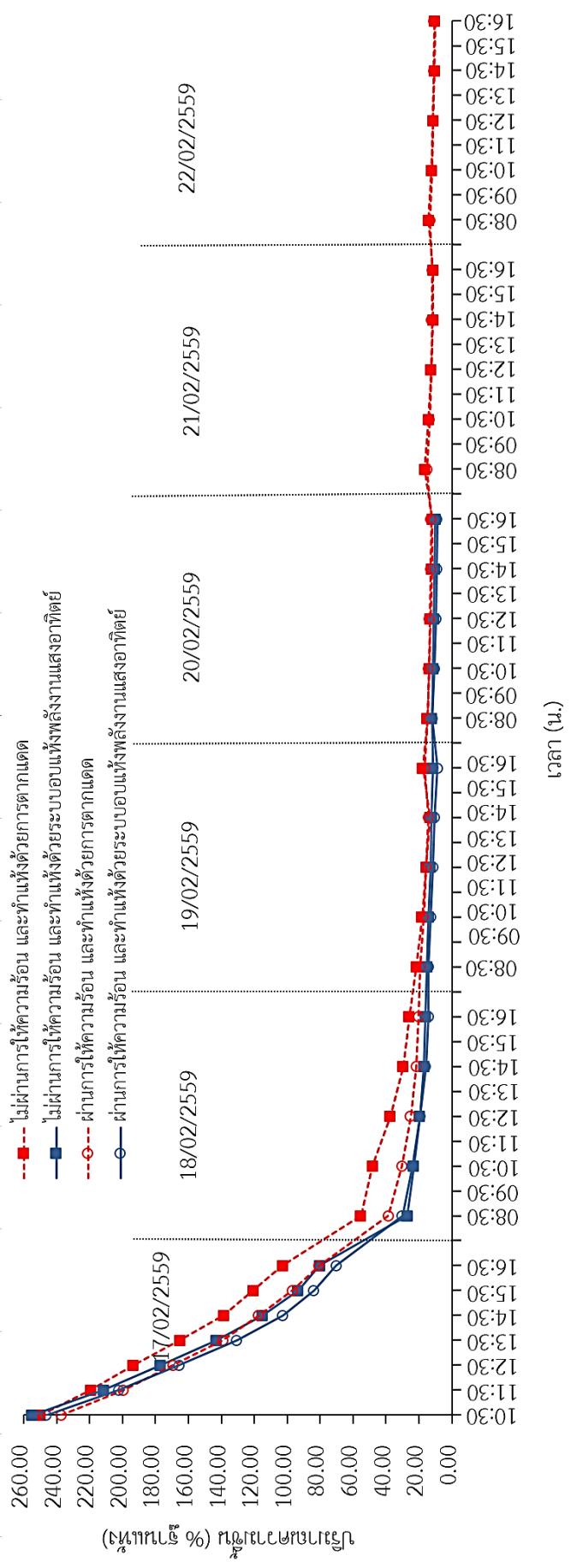
ภาพที่ 37 กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสซัลเฟต

การวิเคราะห์

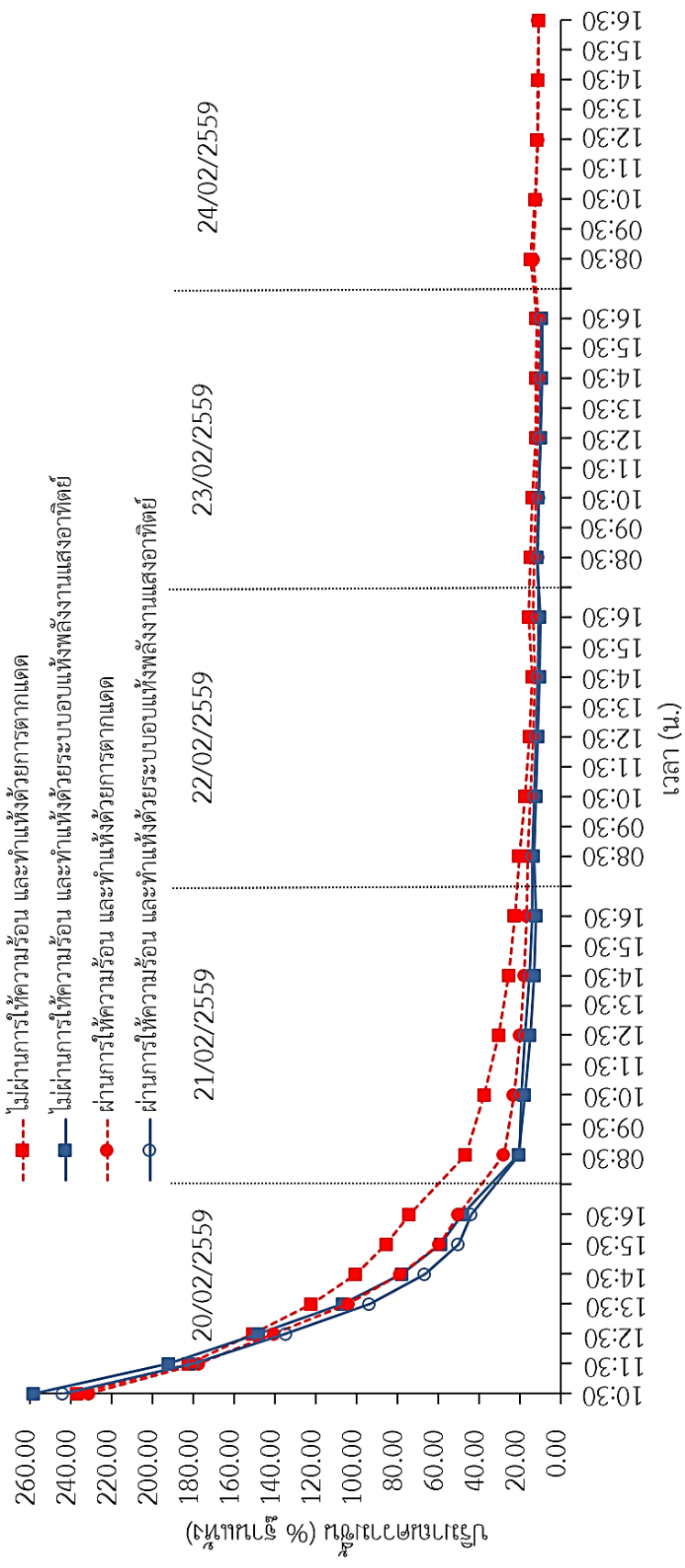
ใช้ไมโครปิเปตดูดสารสกัดตัวอย่าง ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นเติม FRAP reagent ปริมาตร 3.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยหลอดควบคุม คือ 70% เอทานอล 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับ FRAP reagent ปริมาตร 3.00 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นเป็น blank โดยค่าการดูดกลืนแสงควรอยู่ในช่วง $0.2 \leq A \leq 0.8$ แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน รายงานผลเป็นไมโครโมลเฟอรัสซัลเฟตต่อ 100 กรัมตัวอย่าง



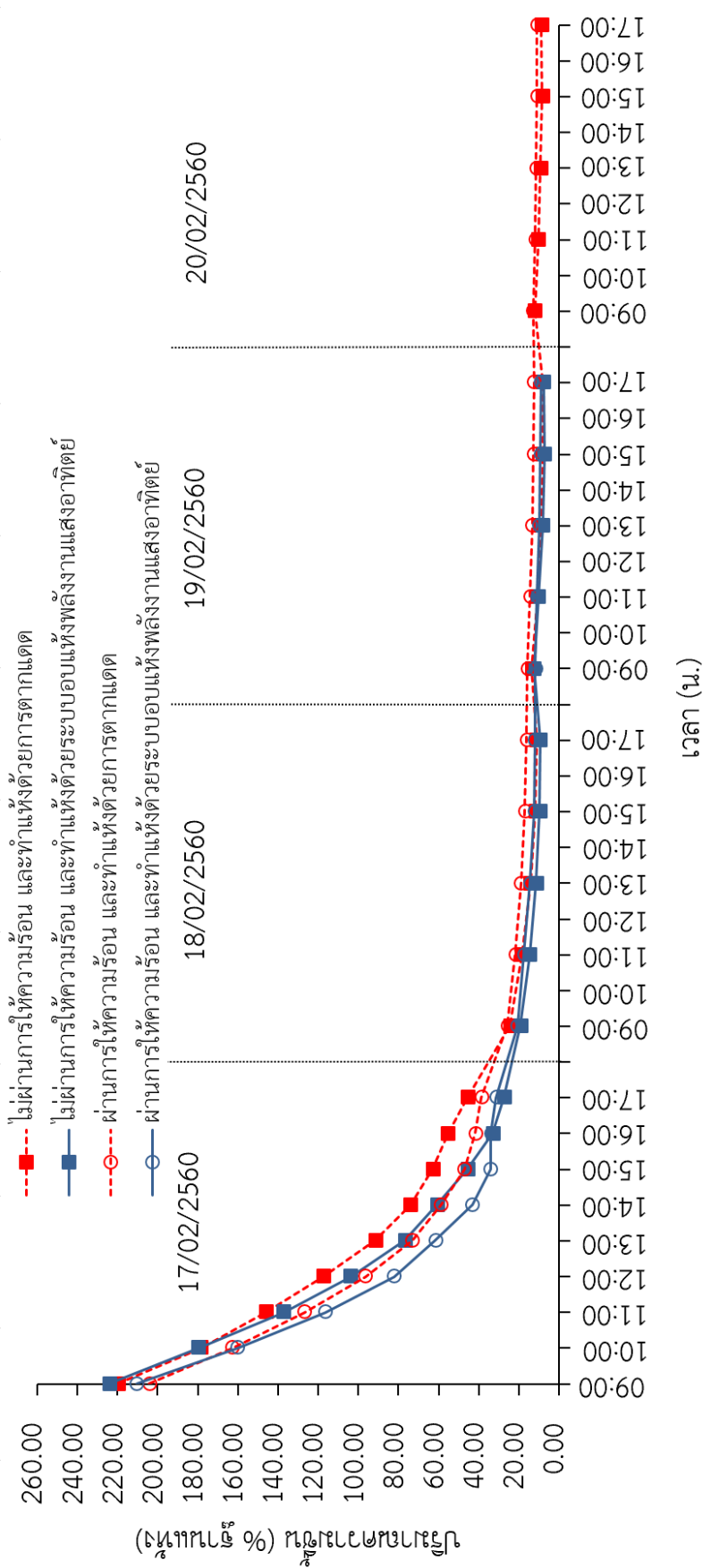




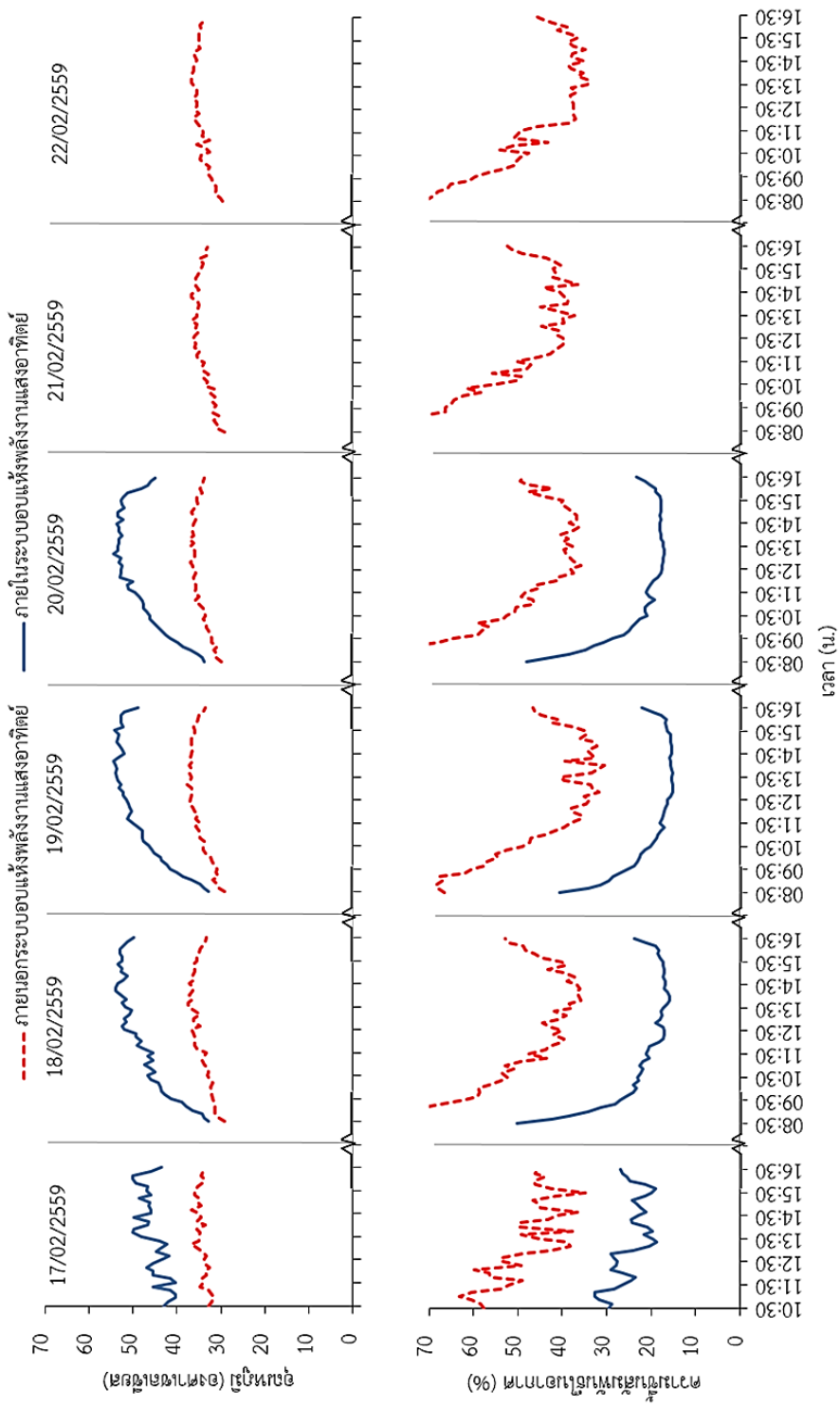
ภาพที่ 38 กราฟการทำแห้งของชิ้นกระดาษที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในชุดการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 1



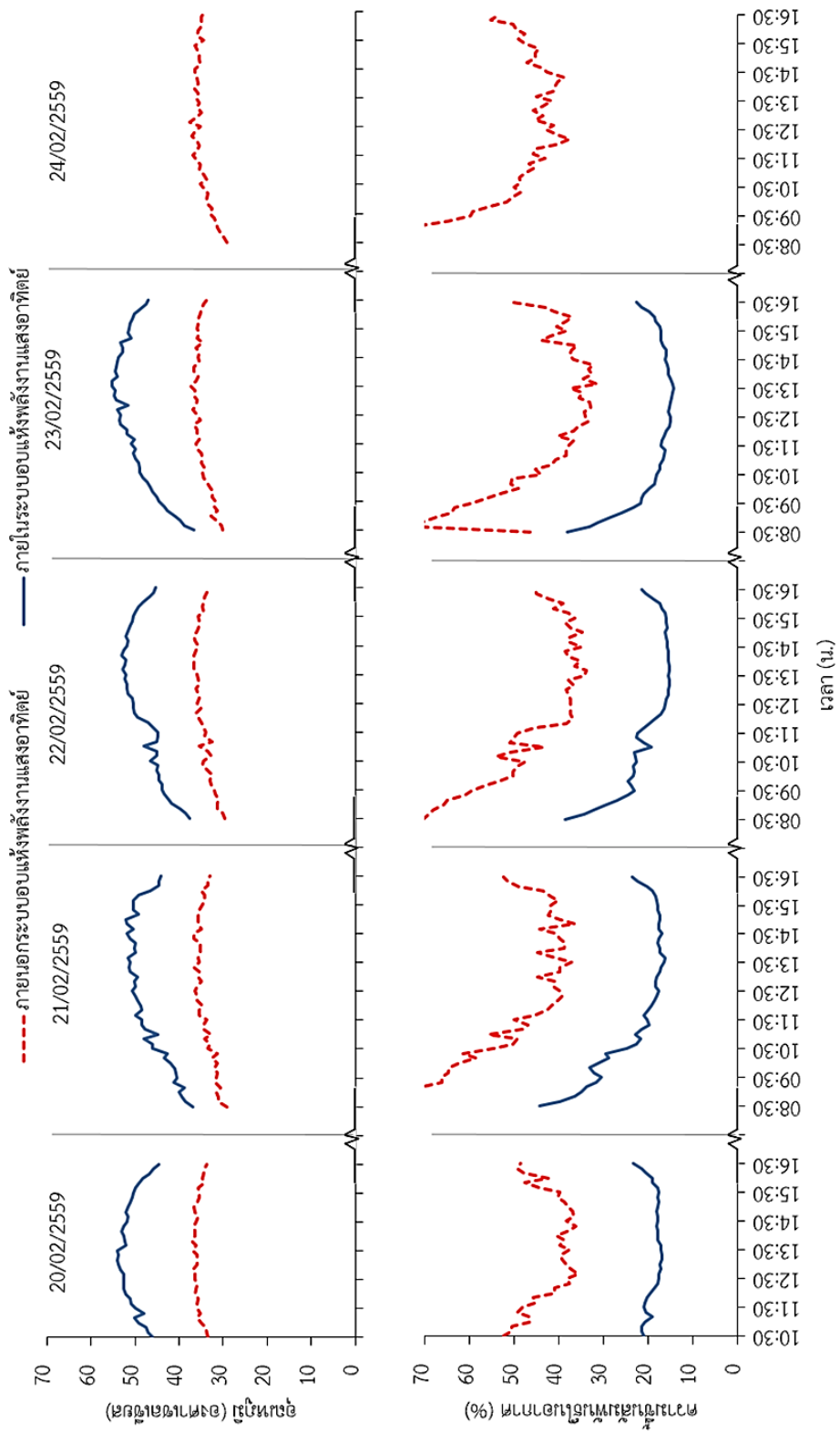
ภาพที่ 39 กราฟการทำแก๊สของขึ้นกระชายดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแก๊สด้วยวิธีการทำแก๊สด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 2



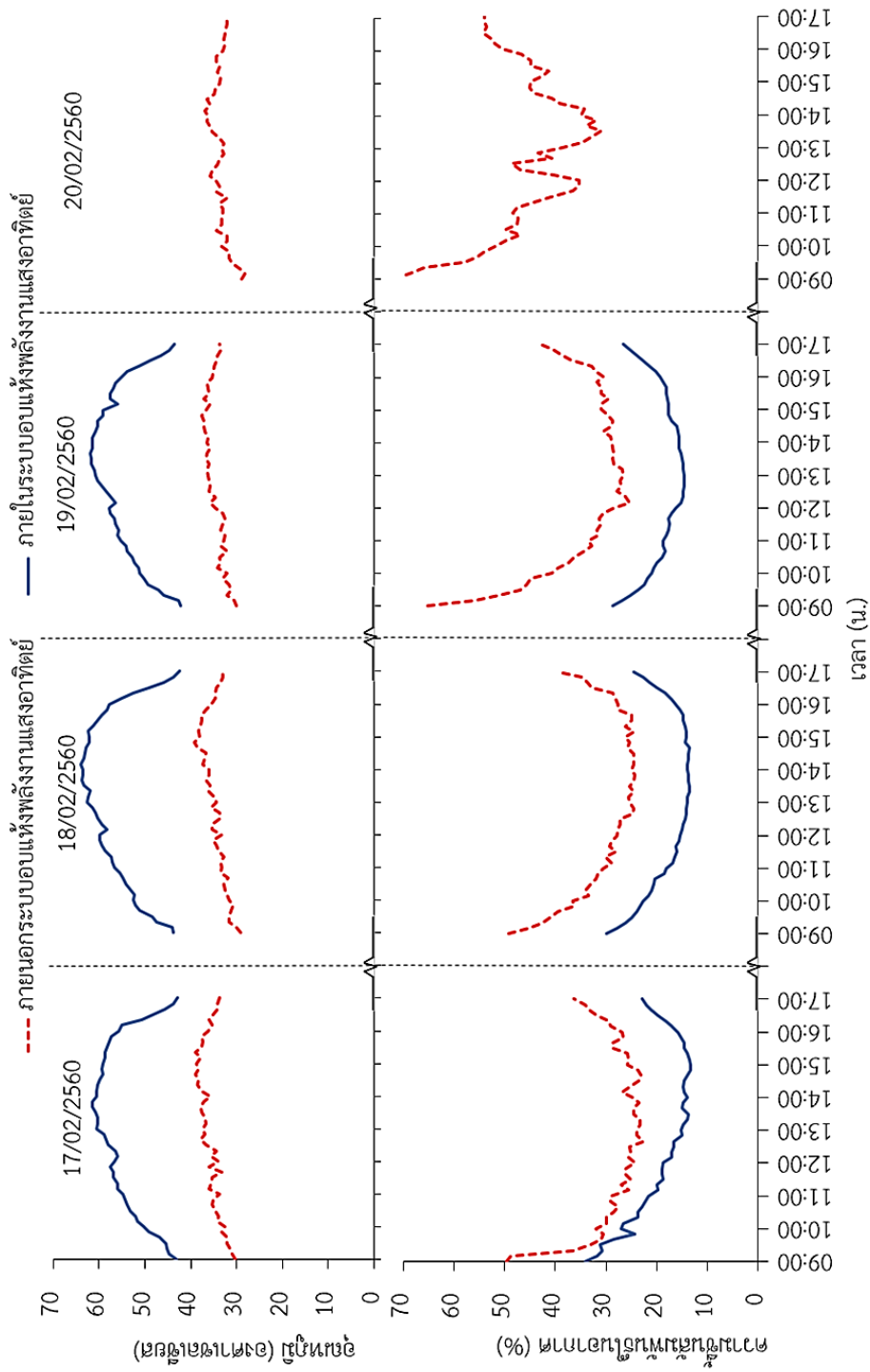
ภาพที่ 40 กราฟการทำแห่งของขึ้นกระชายดำที่เมื่อนการให้ควมร้อนและที่เมื่อนการให้ควมร้อนก่อนการทำแห่งด้วยวิธีการทำแห่งด้วยระบบแห่งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 1



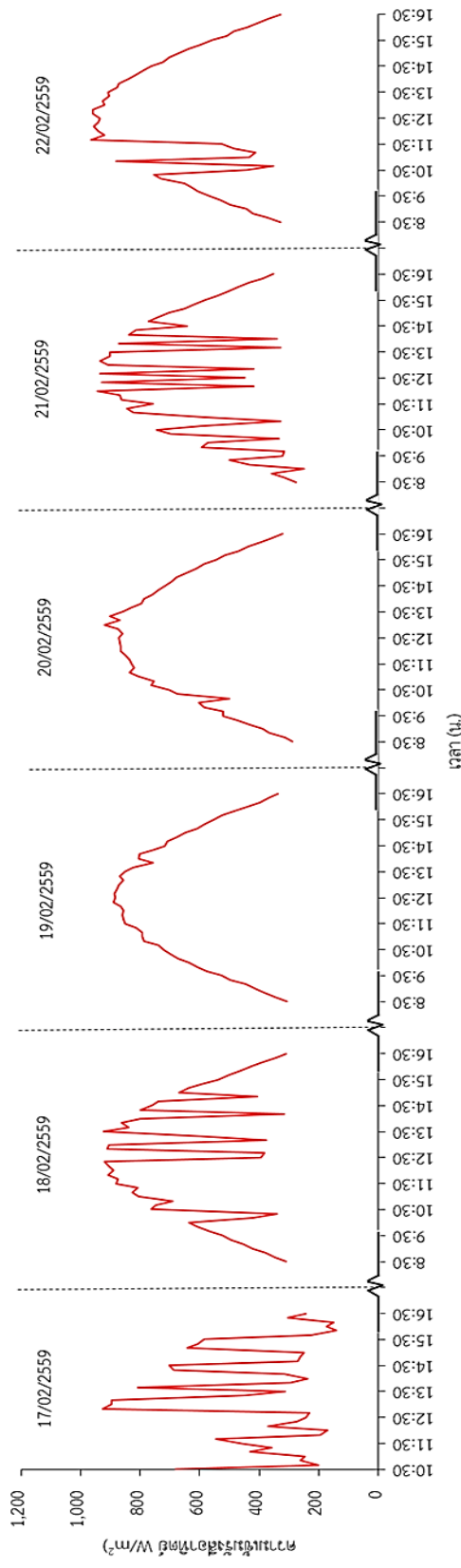
ภาพที่ 41 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งซึ่งกระชายดำที่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 1



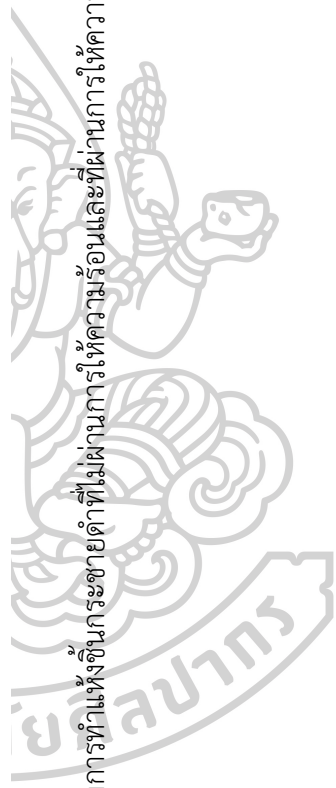
ภาพที่ 42 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างการทำแห้งซึ่งกระชวยดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 2

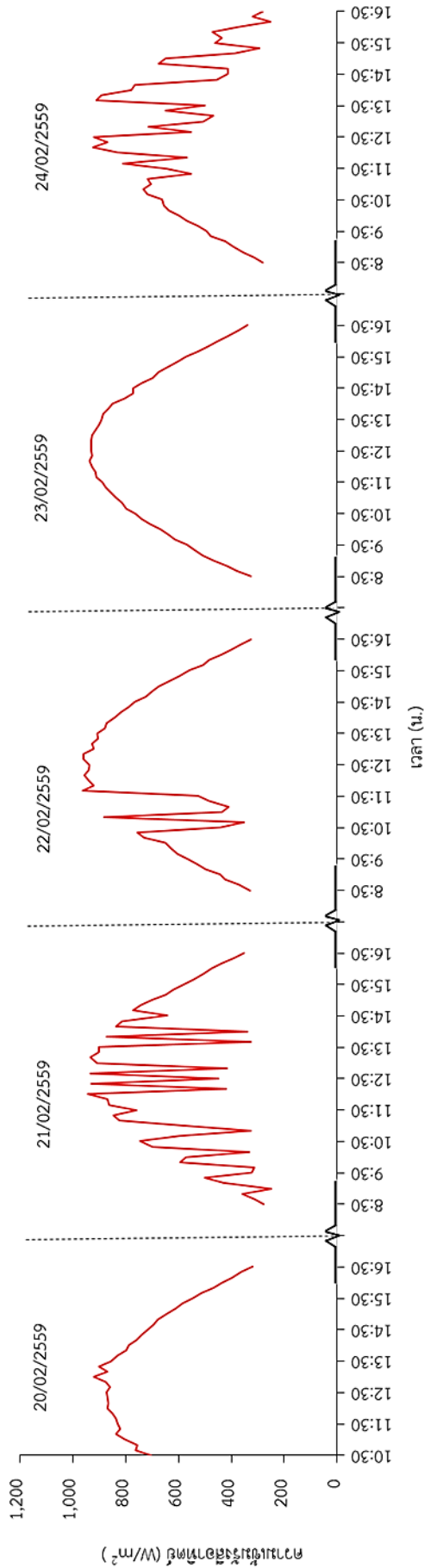


ภาพที่ 43 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศที่ศูนย์ระหว่างการทำห้องขึ้นกระดาษที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำห้องในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่ 1

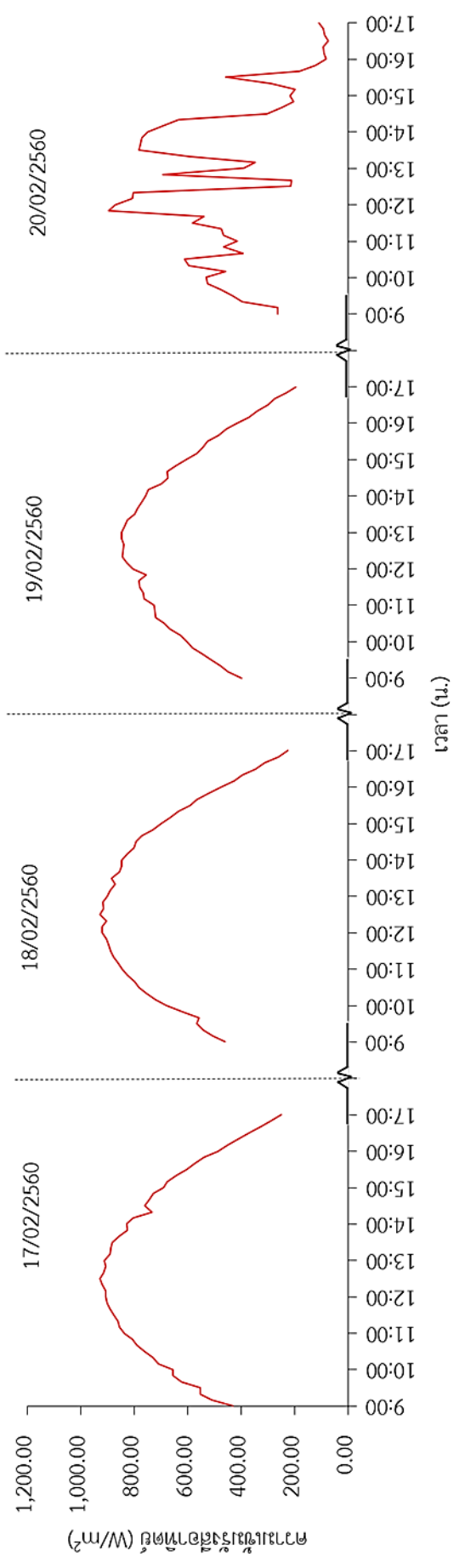


ภาพที่ 44 ความชื้นรังสีอาทิตย์ระหว่างการทำเหมืองหินก่อนการทำเหมืองหินและการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 1



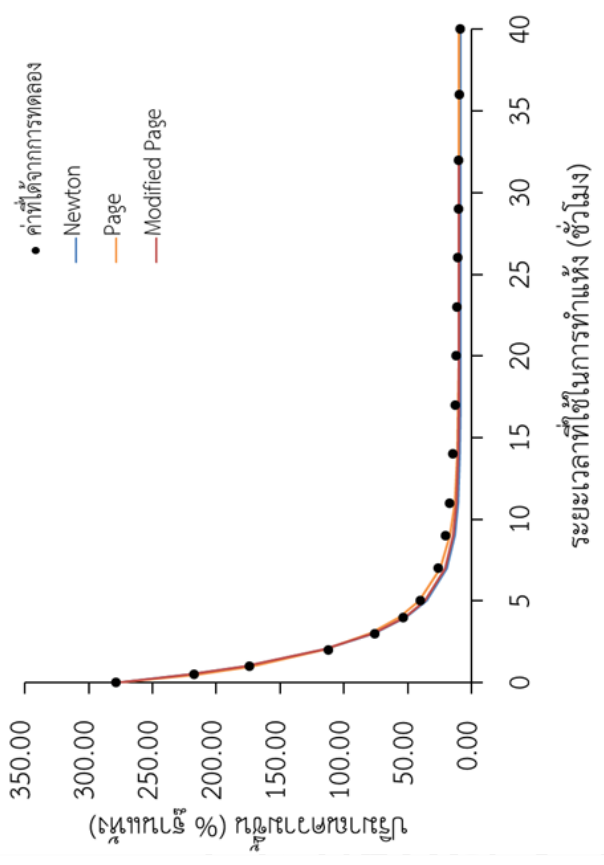


ภาพที่ 45 ความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างทางการทำแห้งซึ่งมีการทำหยาบดำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 1 ซ้ำที่ 2

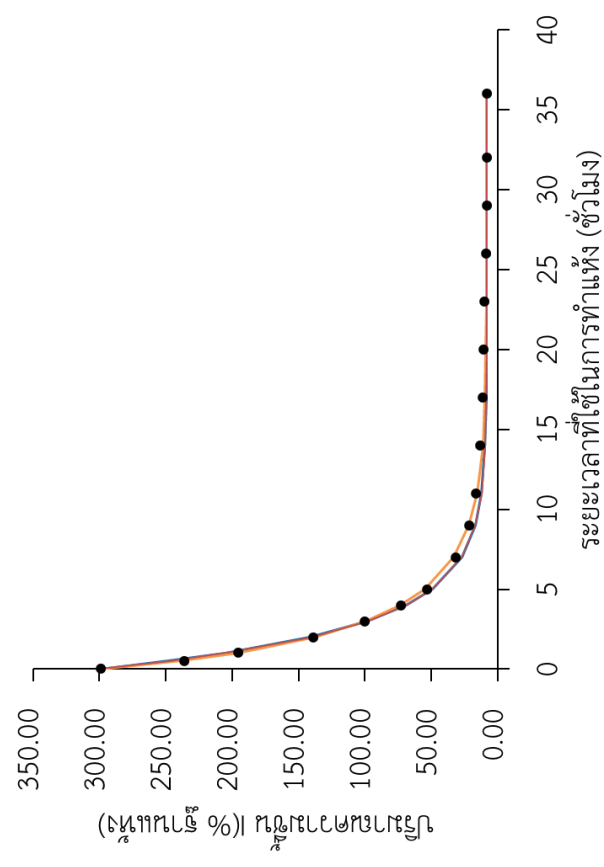


ภาพที่ 46 ความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างการทำงานทำแห้งซึ่งมีการทำแห้งที่ผ่านการใช้ความร้อนและที่ผ่านการใช้ความชื้นก่อนก่อนการทำงานทำแห้งในการทดลองรุ่นที่ 2 ซ้ำที่



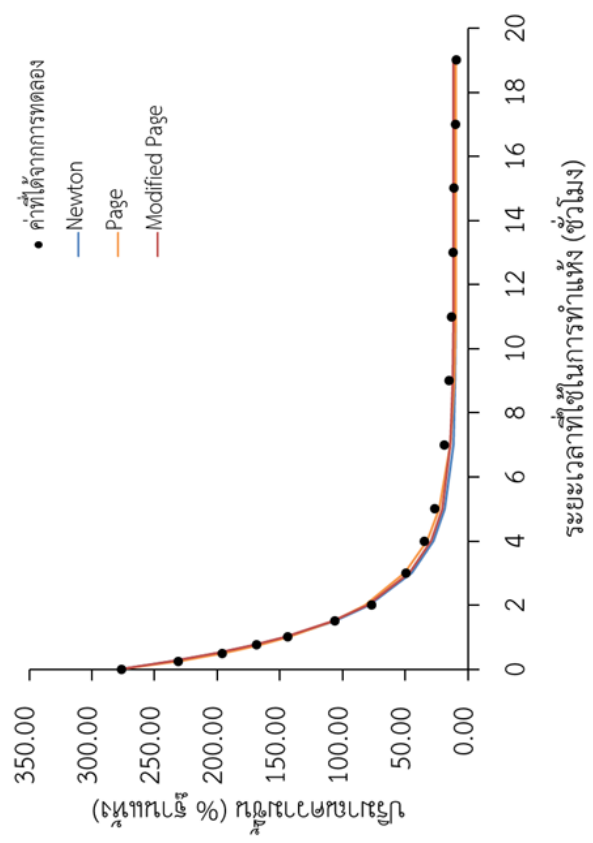


(ข)

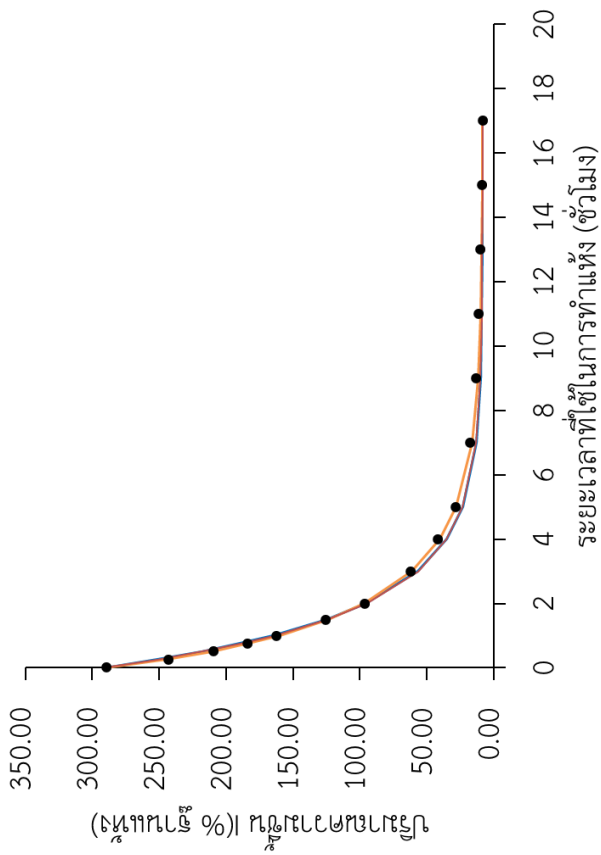


(ค)

ภาพที่ 47 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของชิ้นกระดูกขาไก่ที่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่านการให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการ Newton, Page และ Modified Page

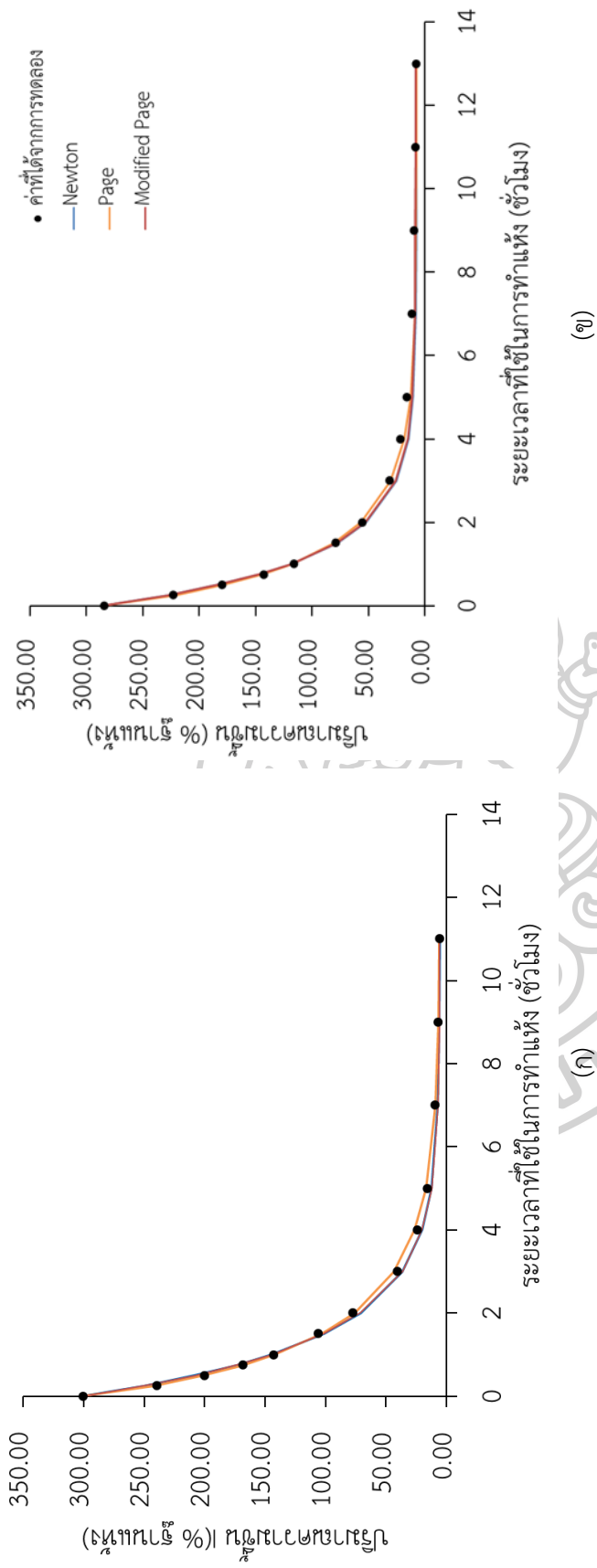


(จ)



(ก)

ภาพที่ 48 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของชิ้นการระเหยที่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่านการให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง Newton, Page และ Modified Page



ภาพที่ 49 ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของชิ้นกระดาษที่ยัดที่ผ่านการให้ความร้อน (ก) และที่ผ่านการให้ความร้อน (ข) กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง Newton, Page และ Modified Page

รายการอ้างอิง

- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16 th. AOAC International. Gaithersburg, Maryland.
- Benzie, I.F.F., and Strain, J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239(1): 70-76.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. 28(1): 25-30.
- Brownmiller, C., Howard, L.R., and Prior, R.L. 2008. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blueberry products. *Journal of Food Science*. 73(5): 72-79.
- Chaipech, S., Morikawa, T., Ninomiya, K., Yoshikawa, M., Pongpiriyadacha, Y., Hayakawa, T., and Muraoka, O. 2012. Structures of two new phenolic glycosides, kaempferiaosides A and B, and hepatoprotective constituents from the rhizomes of *Kaempferia parviflora*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 60(1): 62-69.
- Chen, M.L., Yang, D.J., and Liu, S.C. 2011. Effects of drying temperature on the flavonoid, phenolic acid and antioxidative capacities of the methanol extract of citrus fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) peels. *Food Science and Technology*. 46(6): 1179-1185.
- Gawlik-Dziki, U. 2008. Effect of hydrothermal treatment on the antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea var. botrytis italica*) florets. *Food Chemistry*. 109(2): 393-401.
- He, X.i., Li, X.l, Lv, Y.P., and He, Q. 2015. Composition and color stability of anthocyanin-based extract from purple sweet potato. *Food Science and Technology*. 35: 468-473.
- Heras-Ramírez, M.E., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A.A., Barnard, J., Talamás-Abbud, Ri., Torres-Muñoz, J. V., and Salas-Muñoz, E. 2012. Effect of blanching and drying temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant

- capacity of apple pomace. *Food and Bioprocess Technology*. 5(6): 2201-2210.
- Horigome, S., Yoshida, I., Tsuda, A., Harada, T., Yamaguchi, A., Yamazaki, K., Inohana, S., Isagawa, S., Kibune, N., Satoyama, T., Katsuda, S., Suzuki, S., Watai, M., Hirose, N., Mitsue, T., Shirakawa, H., and Komai, M. 2014. Identification and evaluation of anti-inflammatory compounds from *Kaempferia parviflora*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 78(5): 851-860.
- Hossain, M. A., Wongsrikaew, N., Yoo, G. W., Han, J., and Shin, C. G. 2012. Cytotoxic effects of polymethoxyflavones isolated from *Kaempferia parviflora*. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 55(4): 471-476.
- Huang, Y.C., Chang, Y.H., and Shao, Y.Y. 2006. Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. *Food Chemistry*. 98(3): 529-538.
- Intawee, P., and Janjai, S. 2011. Performance Evaluation of a Large-Scale Polyethylene Covered Greenhouse Solar Dryer. *International Energy Journal*. 12: 39-52.
- Janjai, S. 2012. greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: Development and dissemination. *International Journal of Energy & Environment*. 3(3): 383-398.
- Janjai, S., Phusumpao, C., Nilnont, W., and Pankaew, P. 2014. Experimental performance and modeling of a greenhouse solar dryer for drying macadamia nuts. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 5(6): 1155-1161.
- Jihène, L., Amira, T., Saber, C., and Fethi, Z. 2013. Impact of Infra-red drying temperature on total phenolic and flavonoid contents, on antioxidant and antibacterial activities of ginger (*Zingiber officinale Roscoe*). *Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*. 6(5): 38-46.
- Kapil, A., Koul, I. B., Banerjee, S.K., and Gupta, B.D. 1993. Antihepatotoxic effects of major diterpenoid constituents of *Andrographis paniculata*. *Biochemical Pharmacology*. 46(1): 182-185.
- Kato, M., Tani, T., Terahara, N., and Tsuda, T. 2015. The anthocyanin delphinidin 3-rutinoside stimulates glucagon-like peptide-1 secretion in murine GLUTag cell line via the Ca²⁺/calmodulin-dependent kinase II pathway. *Plos One*. 10(5): 1-13.
- Labrooy, C., Abdullah, T., Abdullah, N.A., and Stanslas, J. 2016. Optimum shade enhances growth and 5,7-Dimethoxyflavone accumulation in *Kaempferia*

- parviflora* Wall. ex Baker cultivars. *Scientia Horticulturae*. 213: 346-353.
- Lee, M., Han, A. R., Jang, M., Choi, H.-K., Lee, S. Y., Kim, K., and Lim, T. G. 2018. Antiskin inflammatory activity of black ginger (*Kaempferia parviflora*) through antioxidative activity. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2018: 1-10.
- Malakul, W., Ingkaninan, K., Sawasdee, P., and Woodman, O. L. 2011. The ethanolic extract of *Kaempferia parviflora* reduces ischaemic injury in rat isolated hearts. *Journal of Ethnopharmacol.* 137(1): 184-191.
- Mekjaruskul, C., Jay, M., and Sripanidkulchai, B. 2012. Pharmacokinetics, bioavailability, tissue distribution, excretion, and metabolite identification of methoxyflavones in *kaempferia parviflora* extract in rats. *Drug Metabolism and Disposition*. 40(12): 2342.
- Morais, H., Ramos, C., Forgács, E., Cserhádi, T and Oliviera, J. 2002. Influence of storage conditions on the stability of monomeric anthocyanins studied by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. 770(1-2): 297-301.
- Mujumdar, A.S. . (2000). *Dryer for particulate solids, slurries and sheet-form materials Classification and Selection of Industrial Dryers* (pp. 38).
- Orikasa, T., Ono, N. , Watanabe, T., Y., Ando, Shiina, T., and Koide, S. 2018. Impact of blanching pretreatment on the drying rate and energy consumption during far-infrared drying of Paprika (*Capsicum annuum* L.). *Food Quality and Safety*. 2(2): 97-103.
- Orikasa, T., Wu, L., Shiina, T., and Tagawa, A. 2008. Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. *Journal of Food Engineering*. 85(2): 303-308.
- Oryza. (2012). *Black Ginger Extract*. Japan: Oryza Oil & Fat Chemical Co.,.
- Page, G.E. 1949. *Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers*. Purdue University.
- Palakajornsak, Y. 2004. *Extraction and stability of anthocyanins from mangosteen peel*. Silpakorn University.
- Panthong, A., Kanjanapothi, D., Tuntiwachwuttikul, P., Pancharoen, O., and Reutrakul, V. 1994. Antiinflammatory activity of flavonoids. *Phytomedicine*. 1(2): 141-144.
- Phusumpao, C., and Piwsaoad, J. 2015. *Thin layer drying of Black Galingale in Thailand*.

- International Journal of Scientific & Engineering Research. 6(7): 374-378.
- Pitakpawasutthi, Y., Palanuvej, C., and Ruangrunsi, N. 2018. Quality evaluation of *Kaempferia parviflora* rhizome with reference to 5,7-dimethoxyflavone. Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research. 9: 26.
- Puengphian, C., and Sirichote, A. 2008. [6]-Gingerol content and bioactive properties of ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) extracts from supercritical CO₂ extraction. Asian Journal of Food and Agro-Industry. 1(01): 29-36.
- Rahman, z.a., Shukor, Z.A., Shazwan, Abbas, H., Machap, C.A., , Alias, M.S., Mirad, R., Sofiyanand, S., and Nazreena Othman, Ayu. 2018. Optimization of extraction conditions for total phenolics and total flavonoids from *kaempferia parviflora* rhizomes. Advances in Bioscience and Biotechnology. 9: 205-214.
- Rein, M. 2005. Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins University of Helsinki.
- Renard, C. M.G.C., Baron, A., Guyot, S., and Drilleau, J.F. 2001. Interactions between apple cell walls and native apple polyphenols: quantification and some consequences. International Journal of Biological Macromolecules. 29(2): 115-125.
- Roy, M.K., Juneja, L.R., Isobe, S., and Tsushida, T. 2009. Steam processed broccoli (*Brassica oleracea*) has higher antioxidant activity in chemical and cellular assay systems. Food Chemistry. 114(1): 263-269.
- Sae-wong, C., Tansakul, P., and Tewtrakul, S. 2009. Anti-inflammatory mechanism of *Kaempferia parviflora* in murine macrophage cells (RAW 264.7) and in experimental animals. Journal of Ethnopharmacology. 124(3): 576-580.
- Sila, D.N., Buggenhout, S.V., Duvetter, T., Roeck, A.D., Loey, A.V., and Hendrickx, M. 2009. Pectins in processed fruits and vegetables: part II structure function relationships. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 8(2): 86-104.
- Starr, M.S., and Franis, F.J.. 1968. Oxygen and ascorbic acid effect on the relative stability of four anthocyanin pigments in cranberry juice. Food Technol. 22: 91-93.
- Sutthanut, K., Sripanidkulchai, B., Yenjai, C., and Jay, M. 2007. Simultaneous

- identification and quantitation of 11 flavonoid constituents in *kaempferia parviflora* by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*. 1143(1): 227-233.
- Taiz, L. 1992. The plant vacuole. *Journal of Experimental Biology*. 172(113-122):
- Thao, N.P., Luyen, B.T.T., Lee, S.H., Jang, H.D., and Kim, Y. H. 2016. Anti-osteoporotic and antioxidant activities by rhizomes of *kaempferia parviflora* Wall. ex Baker. *Natural Product Sciences*. 22(1): 13-19.
- Tohsing, K., Janjai, S., Lamler, N., Mundpookhier, T., Chanalert, W., and Bala, B.K. 2018. Experimental performance and artificial neural network modeling of solar drying of litchi in the parabolic greenhouse dryer. *Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology*. 13(1): 1-11.
- Tummanichanont, C., Phoungchandang, S., and Srzednicki, G. 2017. Effects of pretreatment and drying methods on drying characteristics and quality attributes of *Andrographis paniculata*. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41(6): 1-11.
- Wongsrikaew, N., Woo, H.C., Vichitphan, K., and Han, J. 2011. Supercritical CO₂ for efficient extraction of polymethoxyflavones in *Kaempferia parviflora*. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 54(6): 1008-1011.
- Yang, J., and Gadi, R. L. 2008. Effects of steaming and dehydration on anthocyanins, antioxidant activity, total phenols and color characteristics of purple-fleshed sweet potatoes (*Ipomoea batatas*). *American Journal of Food Technology*. 3(4): 224-234.
- Yenjai, C., Prasanphen, K., Daodee, S., Wongpanich, V., and Kittakoop, P. 2004. Bioactive flavonoids from *Kaempferia parviflora*. *Fitoterapia*. 75(1): 89-92.
- Yorsin, S., Kanokwiroon, K., Radenahmad, N., and Jansakul, C. 2014. Effects of *Kaempferia parviflora* rhizomes dichloromethane extract on vascular functions in middle-aged male rat. *Journal of Ethnopharmacology*. 156: 162-174.
- เสริมสกุล พจนการุณ. 2552. อิทธิพลของการพรางแสงและวัสดุคลุมแปลงที่มีต่อปริมาณเทอร์พีนอยด์ ฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถกำจัดอนุมูลอิสระของเหง้ากระชายดำ. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร*. 26(2): 18-26.
- เสริมสกุล พจนการุณ และเชวง แก้วรักษ์. 2547. การประเมินค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะสีเนื้อใน

- เหง้ากระชายดำ วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร. 35(5-6): 59-62.
- เสริมสกุล พจนการุณ และไชยยง รุจจนเวท. 2457. ความสัมพันธ์ระหว่างสีของเนื้อเหง้ากระชายดำกับฤทธิ์ต้านการเกิดอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 34(4): 270-277.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). ระบบจัดเก็บและรายงานข้อมูลภาวะการผลิตพืชระดับตำบล เรื่อง ข้อมูลการปลูกกระชายดำ (ออนไลน์). เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2562. เข้าถึงได้จาก <http://www.agriinfo.doae.go.th/>.
- ชาลีตา บรมพิชัยชาติกุล. 2555. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน: การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 35(2): 269-283.
- นฤมล มงคลชัยภักดิ์, ฤกษ์ตรา จันทร์สุวานิชย์, and ปภาวดี สุฉันทบุตร. 2549. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชของกระชายดำ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 48(3): 145-155.
- บังอร ศรีพานิชกุลชัย ฉวี เย็นใจ แคทรียา สุทธานุช และนาถิตา วีระปรียากร. (2549). การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ หาปริมาณสารสำคัญโดยเทคนิคโครมาโตกราฟี และการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของส่วนสกัดกระชายดำ การเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านการพัฒนาสมุนไพรเพื่ออุตสาหกรรมระหว่างวันที่ 28-29 กันยายน 2549. โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพมหานคร.
- พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ และสกุลกานต์ สิมลา. 2558. ผลของกรรมวิธีการประกอบอาหารต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในดอกขมจันทร์. วารสารแก่นเกษตร. 43(1): 875-880.
- มาตรฐานของสมุนไพรในตำรามาตรฐานยาสมุนไพร. 2552. กระทรวงสาธารณสุข. ประเทศไทย.
- วิไลพร ธรรมวงษ์ และสมุณา นิระ, . 2550. ระดับความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของกระชายดำจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและหัวพันธุ์ลำดับต่างๆ. วารสารแก่นเกษตร. 35(1): 112-127.
- สุกัญญา แซ่เตียว. 2559. อิทธิพลของการทำแห้งต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และคุณภาพของข้าวหอมนิลฮางอก. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- อัญชลี จุฑะพุทธิ. 2556. กระชายดำ: สมุนไพร Champoin product. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 11: 4-16.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จรียา เกวียนวงษ์
วัน เดือน ปี เกิด	18 กันยายน 2535
สถานที่เกิด	นนทบุรี
วุฒิการศึกษา	สาขาเทคโนโลยีอาหาร วิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	72 หมู่ 5 ต.วังตะกุง อ.เมือง จ.นครปฐม
ผลงานตีพิมพ์	รติพร เอกตาแสง จรียา เกวียนวงษ์ ปราโมทย์ คูวิจิตรจาร์ และ บุศรากรณ์ มหาโยธี. 2559. การตรวจสอบแคปไซซินในพริกแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. งานประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 14, 2-3 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมเวียงอินทร์ จังหวัดเชียงราย (oral presentation) Chariya Kwianwong, Yutthasak Boonrod, Witoon Youngsaad, Busarakorn Mahayothee, Pramote Khuwijitjaru and Serm Janjai. 2016 5,7-dimethoxyflavone content in solar dried Krachaidum. In the 20th International Drying Symposium (IDS 2016) during 7-10 August 2016. Gifu, Japan. (Poster presentation)

