



รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการแปรรูปดอกกุหลาบเชิงพาณิชย์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

Development of Freeze Drying Rose Process for Commercialization

โดย ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ

สิงหาคม 2561

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการแปรรูปดอกกุหลาบเชิงพาณิชย์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด
Development of Freeze Drying Rose Process for Commercialization

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. รศ.ธัญญา เตชศรีเสถียร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. ดร.วชิระ เกตุเพชร	มูลนิธิโครงการหลวง
4. นายภูเบศร์ เจษฎาเมธี	ร้านจัดดอกไม้มาลัยวรรณ
5. นางสาวบุญทริกา นันทา	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
6. นางสาวนุชรัฐ บาลา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. นายรัชพงษ์ พงศ์สุทธิยากร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
8. นางสาวพรกัญญา ม้าวิไล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
9. นางสาวณัฐชา เฉลยจิตรธรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2560

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

ปัจจุบันมูลนิธิโครงการหลวงได้มีการผลิตกุหลาบตัดดอกขาย แต่พบว่ามีความไม่เพียงพอสำหรับกุหลาบตัดดอกที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์ อาทิเช่น ดอกมีทั้งขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ ดอกมีความสวยงาม แต่ก้านดอกสั้น ซึ่งกุหลาบเหล่านี้ไม่สามารถขายได้เท่ากับเกษตรกรต้องแบกรับภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีความคิดว่าหากนำกุหลาบที่มีความสวยงามแต่ก้านสั้นมาแปรรูปให้มีมูลค่ามากขึ้นจะเป็นอีกทางที่จะช่วยเกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ซึ่งกระบวนการทำแห้งเป็นหนึ่งในกระบวนการพื้นฐานของการเก็บรักษาดอกไม้ให้มีอายุการเก็บรักษานานเป็นเดือนหรือเป็นปี มีน้ำหนักและปริมาตรลดลง สะดวกต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และช่วยในการขนส่ง แต่ข้อเสียของการทำแห้งทั่วไป คือ รูปร่าง ลักษณะที่ปรากฏ และสีของดอกไม้หลังทำแห้งเปลี่ยนแปลงไปมากเนื่องจากผลกระทบของความร้อน เพราะฉะนั้นกระบวนการทำแห้งแบบระเหิดจึงเป็นทางเลือกใหม่วิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาผลกระทบจากความร้อนต่อผลิตภัณฑ์ดอกไม้ เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการทำแห้งทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับวัตถุดิบดอกไม้สดต้น เช่น รูปร่าง ลักษณะที่ปรากฏ สี และกลิ่น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตดอกกุหลาบแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการแปรรูปโดยการทำแห้งแบบระเหิด เพื่อหากระบวนการผลิตที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตดอกกุหลาบอบแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบระเหิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในการทดลองเบื้องต้นสามารถจำแนกสีของดอกกุหลาบได้ 11 สี และการแต่งสีที่เลือกใช้เป็นการพ่นสีด้วยสีสเปรย์ทำให้ดอกกุหลาบแห้งคงสภาพใกล้เคียงกับดอกสดมากที่สุด ในส่วนของอุณหภูมิสำหรับการทำแห้งแบบระเหิด พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งระยะที่ 2 จะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการทำแห้งแบบระเหิดเพิ่มขึ้น และทำให้คุณภาพทางกายภาพบางส่วนเปลี่ยนแปลงไป โดยดอกกุหลาบหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 8.53 เปอร์เซ็นต์ และ 0.466 ตามลำดับ และทุกสภาวะการทำแห้งระยะที่ 2 ไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างของสีตัวอย่าง เมื่อนำมาวิเคราะห์ซอร์ฟชันไอโซเทอม ซึ่งแบบจำลองของ Halsey เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด กล่าวคือมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด และมีค่า chi-square (χ^2) ต่ำที่สุด อีกทั้งยังมีรูปแบบสมการที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการนำไปใช้ และอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นสมดุลดอกกุหลาบหลังการทำแห้งกับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสิ่งแวดล้อมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ในส่วนของการประเมินการตลาดดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิด พบว่า มี 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ชอบกุหลาบแห้ง ซึ่งทั้งหมด 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ชอบ คือ เพศชาย ส่วนสาเหตุหลักผู้ที่ชอบกุหลาบแห้ง ได้แก่ สวย มีกลิ่นหอมของกุหลาบที่ชัดเจนแตกต่างจากดอกไม้แห้งชนิดอื่น และสามารถเก็บรักษาดอกกุหลาบไว้ได้นาน ผู้ตอบแบบสอบถามเกือบทั้งหมดมีความพึงพอใจต่อสีโทนชมพูและสีม่วงของดอกกุหลาบแห้ง มีเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ชอบสีดำ และ 1 เปอร์เซ็นต์ ชอบสีธรรมชาติ หากมีการจำหน่ายกุหลาบแห้งมี 13 เปอร์เซ็นต์ ที่จะไม่ซื้อ และ 87 เปอร์เซ็นต์ ที่ซื้อ โดยจะซื้อไปเป็นของขวัญในเทศกาลงานต่างๆ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นของแต่งงาน 20 เปอร์เซ็นต์ ในการตกแต่งโรงแรม และสอนจัดดอกไม้ อย่างละ 5 เปอร์เซ็นต์ และจะซื้อดอกกุหลาบในราคา 20-30 บาท 32 เปอร์เซ็นต์ ราคา 31-40 บาท 42 เปอร์เซ็นต์ 41-50 บาท 19 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า 50 บาท 7 เปอร์เซ็นต์

Abstract

In this research, the optimum condition of freeze drying to obtain high qualities roses and consumer acceptance were investigated. The color of the rose can be classified into 11 colors. Spray paint was used to remain color of dried rose product. In the case of freeze drying temperature, it was found that drying time was increased with secondary temperature increasing. The 40°C freeze dried roses had lowest moisture content (8.53 %w.b.) and water activity (0.466). However, there was no significant difference between color of 30°C and 40°C freeze dried roses. For water sorption isotherm, the result showed that isotherms of 40°C freeze dried roses expressed as S-shape isotherm. The Halsey model was found to be the best suitable for fitting the sorption data due to highest coefficient of determination (R^2) and lowest chi-square (χ^2). It also was easy model to describe the correlation between equilibrium moisture content of dried roses and equilibrium relative humidity at 25°C.

In case of marketing evaluation, it was found that there was 1% dislike for dried rose of research participants who were males. Nevertheless, the main reasons of dried roses fondness were beautiful and unique fragrance. It also can be kept for long time. The major research participants were satisfied with the pink and purple tone colors of freeze dried roses. For black and natural roses were preferred 10% and 1% research participants respectively. If dried roses are sold, that will be bought by 87% research participants as gifts for the festival (70%), decorations for home (20%), hotel (5%) and garden (5%). The roses will be sold at a price of 20-30 baht (32%), 31-40 baht (42%), 41-50 baht (19%) and more than 50 baht (7%).

ส่วนที่ 2 รายงานเนื้อหา

สารบัญ

บทที่	หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		
สารบัญ		
สารบัญตาราง		
สารบัญภาพ		
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
	1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 พันธุ์และประเภทของกุหลาบ	5
	2.2 การผลิตดอกไม้แห้ง	6
	2.3 กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	7
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการทดลอง	9
	3.1 การทดลองที่ 1 การเตรียมดอกไม้ก่อนทำแห้ง	10
	3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาภาชนะสำหรับกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบ ระเหิด และการทดสอบคุณภาพดอกกุหลาบ	10
	3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาอุณหภูมิทำแห้งระยะสองในกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำ แห้งแบบระเหิด และการทดสอบคุณภาพดอกกุหลาบ	14
	3.4 การทดลองที่ 4 การเพิ่มมูลค่าของไม้ประดับแห้ง	17
บทที่ 4	ผลการทดลอง	19
	4.1 ผลการทดลองที่ 1 การเตรียมดอกไม้ก่อนทำแห้ง	20
	4.2 ผลการทดลองที่ 2 การศึกษาภาชนะที่ใช้สำหรับการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบ	31
	4.3 ผลการทดลองที่ 3 ผลการศึกษาอุณหภูมิสำหรับการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบ	36
	4.4 ผลการทดลองที่ 4 การเพิ่มมูลค่าของไม้ประดับแห้ง	38
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	49
	5.1 สรุปผลการทดลอง	50
	5.3 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	51
	5.4 ผลผลิต (output) และตัวชี้วัด	51
	เอกสารอ้างอิง	52

สารบัญรูป

รูปที่	หัวข้อ	หน้า
2.1	ส่วนประกอบหลักของดอกกุหลาบ	5
3.1	ดอกกุหลาบสดทั้ง 7 สายพันธุ์	10
3.2	ขั้นตอนการเตรียมดอกกุหลาบ	11
3.3	การจัดเรียงดอกกุหลาบบนภาตไข่	11
3.4	ขั้นตอนของอุณหภูมิชั้นวางสินค้า อุณหภูมิตัวอย่าง และความดันของอากาศระหว่างการทาแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	12
3.5	ห้องควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์	13
3.6	การวัดค่าความชื้นตัวอย่างดอกกุหลาบ	13
3.7	การตรวจวัดสีด้วยภาพถ่าย	14
3.8	การเตรียมกุหลาบสำหรับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบบะเทิด	14
3.9	การเสียโปรตีนของอุณหภูมิในตัวอย่าง	15
4.1	พื้นที่แปลงกุหลาบของเกษตรกร บ้านป่าเลา ตำบลสะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่	20
4.2	เกษตรกรนำดอกกุหลาบมาขายยังศูนย์ฯ พุงเรา	20
4.3	ลักษณะกุหลาบที่เกษตรกรนำมาส่งขายยังศูนย์ฯ พุงเรา	21
4.4	กระบวนการคัดเกรดและห่อดอกกุหลาบ	21
4.5	กุหลาบที่ห่อเรียบร้อยแล้วเพื่อนำส่งต่อไป	22
4.6	ลักษณะดอกกุหลาบที่ตกเกรด	22
4.7	ทางศูนย์ฯ พุงเรา ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินงานของศูนย์	23
4.8	ศูนย์ฯ พุงเราให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำแห้งดอกไม้ด้วยซิลิกาเจลเบื้องต้น	23
4.9	ลักษณะดอกกุหลาบที่ทำแห้งโดยใช้ซิลิกาเจลดูดซับความชื้น	24
4.10	หน้าร้านดอกไม้แห้งและการจัดแต่งดอกไม้แห้งแบบต่าง ๆ	24
4.11	ลักษณะการตกแต่งดอกไม้แห้งแบบต่าง ๆ	24
4.12	เยี่ยมชมร้านโครงการหลวง	25
4.13	การย้อมสีกล้วยไม้โดยใช้วิธีการดูดสี(สีผสมอาหาร)ของบริษัทส่งออกกล้วยไม้	25
4.14	สีจุ่มที่ใช้ในการทดลอง	28
4.15	กุหลาบที่ทำการจุ่มสีชมพู	28
4.16	ดอกกุหลาบที่ผ่านการตากแห้งหลังจากจุ่มสี	29
4.17	ดอกกุหลาบสดหลังจากการดูดสี absorb	29
4.18	สีสเปรย์ที่ใช้ในการพ่นสีดอกไม้	29
4.19	การพ่นสีดอกกุหลาบสด	30
4.20	ตัวอย่างดอกกุหลาบสดหลังทำการพ่นสี	30
4.21	การวางตัวอย่างดอกกุหลาบในเครื่อง Kryo 'D' Freezer	31
4.22	การวัดอุณหภูมิใจกลางตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดอกกุหลาบ	31

รูปที่	หัวข้อ	หน้า
4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบที่วางบนภาชนะพลาสติก กับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเหิด	32
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบที่วางบนภาชนะที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ กับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเหิด	32
4.25	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดอกกุหลาบหลังการทำแห้งแบบระเหิด	25
4.26	ตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิด (ก.) ก่อนการทำแห้งแบบระเหิด (ข.) หลังการทำแห้งแบบระเหิด	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หัวข้อ	หน้า
4.27	ตัวอย่างดอกกุหลาบสายพันธุ์ Grand Gala ที่ข้างในไม่แห้ง	35
4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเหิดที่สภาวะการทำแห้งระยะ 2 30 องศาเซลเซียส	37
4.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเหิดที่สภาวะการทำแห้งระยะ 2 40 องศาเซลเซียส	38
4.30	ตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิต่างๆ	40
4.31	ซอร์ฟชั้นไอโซเทอมความชื้นของดอกกุหลาบหลังการทำแห้งแบบระเหิด	44
4.32	ลักษณะของดอกกุหลาบที่ไม่ได้พ่นสีหลังจากการทำแห้งแบบระเหิด	45
4.33	ลักษณะของดอกกุหลาบที่พ่นสีก่อนการทำแห้งแบบระเหิด และพ่นสีหลังการทำแห้งแบบระเหิด	45
4.34	เปรียบเทียบกุหลาบพ่นสีและไม่ได้พ่นสีหลังจากทำแห้งแบบระเหิด กุหลาบที่ไม่ได้พ่นสีหลังจากทำแห้งแบบระเหิด (ก) กุหลาบที่ทำการพ่นสีหลังทำแห้งแบบระเหิด (ข)	46
4.35	ดอกกุหลาบที่ทดลองนำมาจัดเป็นแจกันและช่อมือถือ	46
4.36	ดอกกุหลาบที่ทดลองนำมาจัดเป็นบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบกระปุกพลาสติก	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หัวข้อ	หน้า
3.1	ขั้นตอนหลักและสภาวะอุณหภูมิและความดันที่กำหนดให้กับเครื่อง Kryo ‘D Fz. สำหรับการทดลองที่ 2	12
3.2	ขั้นตอนหลักและสภาวะอุณหภูมิและความดันที่กำหนดให้กับเครื่อง Kryo ‘D Fz. สำหรับการทดลองที่ 3	15
4.1	ลักษณะสีของดอกกุหลาบที่ใช้ในการวิจัย	26
4.2	ระยะเวลาในกระบวนการทำแห้งของดอกกุหลาบ	33
4.3	ปริมาณความชื้นของตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิด	34
4.4	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง	35
4.5	ค่าความแตกต่างของสีของตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิด	36
4.6	ระยะเวลาในกระบวนการทำแห้งของดอกกุหลาบที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน	38
4.7	ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของดอกกุหลาบที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน	39
4.8	ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของตัวอย่างดอกกุหลาบที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน	39
4.9	ค่าความแตกต่างของสีดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน	41
4.10	ค่าคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่า chi-square ของแบบจำลองความชื้นสมมูลต่างๆที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	43
4.11	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ได้จากการทดลอง (experimental data) และค่าวอเตอร์แอคทิวิตีที่ได้จากการคำนวณ (predicted data)	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ดอกไม้แห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห่งชนิดหนึ่งในปัจจุบันได้รับความสนใจจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความสวยงามและสามารถเก็บไว้ใช้งานได้นาน ดอกไม้แห้งนั้นเมื่อเทียบกับดอกไม้สดจะเห็นว่าขาดความนุ่มนวลอ่อนหวานในทางธรรมชาติไปบางส่วน ดังนั้นการผลิตดอกไม้แห้งในปัจจุบันจึงเน้นให้มีสีและกลิ่นใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด สำหรับวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นดอกไม้แห้งนั้น มีทั้งที่เป็นพืช พืชที่มีการปลูกในท้องถิ่น และพืชบางชนิดที่ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ (จารุพันธ์, 2540) วัตถุดิบเหล่านี้เมื่อนำมาผ่านกระบวนการต่างๆ ในการทำแห้ง ได้แก่ ฟอก ย้อม ตาก อบแห้ง และอบกลิ่น แล้วจะต้องสามารถคงรูปร่างลักษณะเดิมเอาไว้ให้ได้มากที่สุด และต้องมีจำนวนมากเพียงพอที่จะใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้น ในการผลิตไม้ประดับแห่งชนิดต่างๆ จึงควรมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะในด้านการผลิตวัตถุดิบเพื่อนำมาใช้ผลิตเป็นไม้ประดับแห่ง

ปัจจุบันมูลนิธิโครงการหลวงได้มีการผลิตกุหลาบตัดดอกขาย แต่พบว่ามีความไม่เพียงพอสำหรับกุหลาบตัดดอกที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์ ดอกมีทั้งขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ ดอกมีความสวยงาม แต่ก้านดอกสั้น ซึ่งกุหลาบเหล่านี้ไม่สามารถขายได้ เท่ากับเกษตรกรแบกรับภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีความคิดว่าหากนำกุหลาบที่มีความสวยงามแต่ก้านสั้นมาแปรรูปให้มีมูลค่ามากขึ้นจะเป็นอีกทางที่จะช่วยเกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

กระบวนการทำแห้งเป็นหนึ่งในกระบวนการพื้นฐานของการเก็บรักษาอาหารผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งจะมีอายุการเก็บรักษานานเป็นเดือนหรือเป็นปี มีน้ำหนักและปริมาตรลดลง สะดวกต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และช่วยในการขนส่ง (Judith, 2551) วิธีการทำแห้งที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อการเสื่อมเสียคุณภาพด้วยความร้อนต้องเป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำในการทำแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพดี มีการทำลายโครงสร้างน้อย สามารถรักษาสารหอมระเหย สี และคุณค่าทางโภชนาการได้ใกล้เคียงผลิตภัณฑ์ก่อนทำแห้งได้มาก ซึ่งวิธีที่ นิยมใช้ คือ การทำแห้งแบบระเหิด (ชาลีตา, 2555)

เพราะฉะนั้นกระบวนการอบแห้งแบบระเหิดจึงเป็นทางเลือกใหม่วิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาผลกระทบจากความร้อนต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการทำแห้งทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับวัตถุดิบตั้งต้น เช่น รูปร่าง ลักษณะที่ปรากฏ รสชาติ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส กิจกรรมทางชีวภาพและอื่น ๆ มีศักยภาพการคืนตัวของผลิตภัณฑ์สูง (Chokri, 1997)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตดอกกุหลาบแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการแปรรูปโดยการทำแห้งแบบระเหิด เพื่อหากระบวนการผลิตที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนากระบวนการการทำกุหลาบแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบระเหิดเพื่อเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาถึงพันธุ์กุหลาบของมูลนิธิโครงการหลวงที่เหมาะสมที่จะนำมาแปรรูปในกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด

- 1.3.2 ศึกษาถึงวิธีการที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด
- 1.3.3 ศึกษาถึงการย้อมหรือพ่นสีดอกกุหลาบก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด
- 1.3.4 ศึกษากระบวนการเก็บรักษาก่อนวางจำหน่าย และระหว่างการจำหน่าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

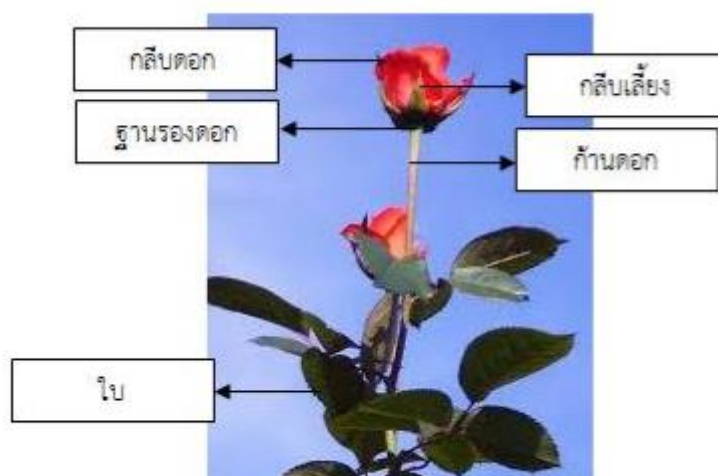
- 1.4.1 ทราบกระบวนการผลิตกุหลาบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด
- 1.4.2 เพิ่มมูลค่าสินค้าจากไม้ดอกประดับแห้ง

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/ สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 พันธุ์และประเภทของกุหลาบ

กุหลาบ (*Rosa* spp.) อยู่ในสกุล *Rosa* มีอยู่ประมาณ 125 ชนิด มีถิ่นกำเนิดในเอเชียประมาณ 95 ชนิด ในอเมริกา 18 ชนิด ส่วนที่เหลือมีถิ่นกำเนิดในยุโรปหรือตะวันตกเฉียงเหนือของแอฟริกา กุหลาบเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก แต่บางชนิดมีขนาดใหญ่หรือเป็นไม้เลื้อย เป็นไม้ผลัดใบ ส่วนใบประกอบด้วยแบบขนนก มีใบย่อย 5-9 ใบ ดอก เป็นดอกเดี่ยว หรือดอกช่อ กลีบดอกแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ กลีบดอกชั้นเดียว จะมี 5 กลีบ ยกเว้นบางชนิดที่มีเพียง 4 กลีบ คือ *Rosa sericea* และ *Rosa omeiensis* ส่วนกลีบดอกกึ่งซ้อนมี 6-20 กลีบ กลีบดอกซ้อนมีตั้งแต่ 20 กลีบ ไปจนถึง 50-60 กลีบ กลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ สีเขียวหรือสีเขียวอมแดง เกสรเพศผู้มีจำนวนมาก อับเรณูสีเหลืองล้อมรอบเกสรเพศเมียซึ่งรวมเป็นกระจุกอยู่กลางดอกและจะอยู่ในระดับต่ำกว่าเกสรเพศผู้ ผลกุหลาบ (hip) เป็นผลกลุ่ม ผลแก่แห้ง เมล็ดล่อน (achene) เมื่อเริ่มติดผลส่วนที่เป็นรังไข่จะขยายพองโตขึ้นโดยมีฐานรองดอกหุ้มไว้ ภายในประกอบด้วยผลย่อยจำนวนสองถึงหลายสิบผล ผลมีรูปร่างต่างๆ กัน ตามชนิด เช่น กลม กลมแบน ยาวรี มีเนื้อนุ่ม และมีหลายสี เช่น สีส้ม สีแดง สีเหลือง หรือสีน้ำตาล เมล็ด ค่อนข้างกลม รูปไข่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 มิลลิเมตร เมล็ดอ่อนสีขาวอมเขียว ที่ปลายมีสีแดง เมล็ดแก่สีน้ำตาล จำนวน 2-18 เมล็ด (สารานุกรมไม้ประดับในประเทศไทย, 2540)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของดอกกุหลาบ

(ที่มา : <http://www.manager.co.th/travel/viewnews.aspx?NewsID=9560000017553>)

ประเภทของกุหลาบ (สารานุกรมไม้ประดับในประเทศไทย, 2540)

การแบ่งกลุ่มกุหลาบสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กุหลาบยุคเก่า (Old Rose) และ กุหลาบยุคใหม่ (Modern Rose) นอกจากนั้นยังแบ่งเป็นประเภทย่อยๆ อีกหลายลักษณะ สำหรับประเภทที่พบปลูกในประเทศไทย ได้แก่

Hybrid Tea ทรงต้นมีขนาดใหญ่ ดอกเป็นดอกเดี่ยวขนาดใหญ่ รูปทรงสวยงาม กลีบดอกซ้อน ก้านดอกใหญ่และแข็งแรง มีหลายพันธุ์ นิยมปลูกเป็นไม้ตัดดอก

Floribunda เป็นลูกผสมระหว่าง Hybrid Tea กับกุหลาบประเภท Polyantha ซึ่งมีดอกขนาดเล็กและต้นเตี้ย จึงมีทรงต้นและขนาดดอกเล็กกว่า Hybrid Tea และมีไม่มากพันธุ์นัก

Grandiflora พัฒนามาจาก Floribunda แต่มีช่อดอกใหญ่ กว่าก้าน ช่อดอกยาวปานกลางส่วนรูปทรงดอกคล้าย Hybrid Tea

Miniature เป็นลูกผสมระหว่าง Floribunda กับ กุหลาบประเภท Polyantha และกุหลาบป่าบางชนิด ทรงพุ่มและดอกมีขนาดเล็ก ดอกดก

Climber มีลำต้นเลื้อย บางพันธุ์เกิดจากการกลายพันธุ์ของทั้งสี่ประเภทข้างต้น

Hybrid Musk หรือลูกผสมมัสค์ เป็นกุหลาบยุคเก่า ต้นเป็นทรงพุ่ม ออกดอกเป็นช่อใหญ่ ดอกซ้อนขนาดเล็ก

Polyantha เป็นลูกผสมระหว่างกุหลาบชนิดดอกช่อและต้นเตี้ย แข็งแรง มีดอกตลอดปี ออกดอกเป็นช่อดอกซ้อนขนาดเล็ก

2.2 การผลิตดอกไม้แห้ง

นันทนัช (2542) ได้มีการศึกษาการผลิตดอกไม้แห้งหลายชนิด ทดลองเปรียบเทียบพันธุ์อิลเลียจำนวน 15 พันธุ์ (พันธุ์ เบอร์ 1 – พันธุ์ เบอร์ 15) ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองหอย อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิต โดยหาพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตได้ดี ให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพช่อดอกดี พบว่า พันธุ์เบอร์ 14 เป็นพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตดี โดยมีความสูงต้นที่ระยะเก็บเกี่ยว (23.08 เซนติเมตร) และขนาดกอที่ระยะเก็บเกี่ยว (51.29 เซนติเมตร) ให้ผลผลิตรวมตลอดฤดูปลูกสูง โดยมีจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น 49 ช่อ นำมาคำนวณผลผลิตต่อไร่ พบว่า มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งช่อดอกเฉลี่ยสูงสุดคือ 7,144.80 และ 1,880.60 กิโลกรัม ต่อไร่ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยขนาดช่อดอกใหญ่ (18.95 เซนติเมตร) มีความยาวก้านช่อดอกเฉลี่ยยาวที่สุด (56.73 เซนติเมตร) หลังจากนั้นได้นำเอาพันธุ์อิลเลียที่มีผลผลิตดีจำนวน 5 พันธุ์ มาทดสอบการพอกย้อม เพื่อศึกษาถึงพันธุ์ของอิลเลียที่มีคุณภาพช่อดอกดีเหมาะสมในการผลิตเป็นดอกไม้แห้ง ณ โรงงานผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห่ง มูลนิธิโครงการหลวง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ พบว่า พันธุ์เบอร์ 14 มีคะแนน คุณภาพการใช้ประโยชน์ของช่อดอก และคะแนนความสวยงามของช่อดอกหลังการพอกย้อมสูงสุด คือ 3.77 และ 3.80 คะแนน ตามลำดับ และมีขนาดช่อดอก ความยาวก้านช่อดอก เส้นผ่าศูนย์กลางก้านช่อดอกหลังการพอกย้อมสูงสุด คือ 14.57 55.12 และ 0.49 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาใช้ในการวางแผนการผลิตอิลเลียเพื่อเป็นการค้า นั้นพบว่า อิลเลียสามารถเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เมื่ออายุประมาณ 3 เดือนหลังการย้ายปลูก จึงแนะนำให้เกษตรกรปลูกอิลเลียพันธุ์เบอร์ 14 ในช่วงปลายฤดูฝน คือ ในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน

ชลลดา (2549) ได้ศึกษาการผลิตหญ้าหางกระต่าย เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นดอกไม้แห้งการปลูกในสภาพธรรมชาติในเมืองไทย หญ้าหางกระต่ายจะออกดอกและเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงปลายเดือน

เมษายนถึงต้นเดือนมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงที่มักจะมีฝนตก ทำให้ช่อดอกของหญ้าหางกระต่ายออกดอกก่อนเวลาที่ ฝนจะตกด้วยการให้วันยาวเพิ่มโดยการเปิดไฟ ซึ่งอายุต้นและระยะเวลาการให้วันยาวกับหญ้าหางกระต่าย เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการออกดอกของหญ้าหางกระต่าย จึงได้ทำการศึกษาในเรื่องอิทธิพลของอายุต้นและระยะเวลาการให้วันยาวที่เหมาะสมต่อการออกดอก โดยทำการทดลองที่สถานีวิจัยอินทนนท์ มูลนิธิโครงการหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนสิงหาคม 2547 ถึง เดือนมิถุนายน 2548 จากการทดลองพบว่า วันยาวมีผลต่อการชักนำให้หญ้าหางกระต่ายออกดอกได้เร็วขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการพัฒนาของช่อดอก อายุต้นที่เหมาะสมสำหรับการให้วันยาว คือ อายุต้นที่ 6 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก ส่วนระยะเวลาการให้วันยาวที่เหมาะสมสำหรับการชักนำให้หญ้าหางกระต่ายออกดอก คือ ให้วันยาวเป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้ทำให้หญ้าหางกระต่ายมีจำนวนช่อดอกต่อกอ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผลผลิตดีที่สุด

ปัจจุบันดอกไม้อบแห้งกำลังเป็นที่นิยมในการศึกษาและพัฒนาสู่ระบบอุตสาหกรรม โดยการทำแห้งดอกไม้ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบธรรมชาติ หรือใช้เครื่องมือในการทำแห้ง เช่น การใช้ซิลิกาเจล การทำแห้งแบบลมร้อน การทำแห้งแบบสุญญากาศ การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ การทำแห้งแบบระเหิด การทำแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด และอื่นๆ การทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง และเวลานานส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัส สี กลิ่นของผลิตภัณฑ์ (Tein, 1998) เป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลงกระบวนการทำแห้งแบบใช้คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะที่แตกต่างจากการทำแห้งประเภทอื่นๆเนื่องจากการใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนเป็นการทำให้โมเลกุลของสารที่มีขั้ว เช่น น้ำในวัสดุเกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตามทิศทางการเคลื่อนของคลื่นไมโครเวฟ การเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้เกิดการเสียดสี ของโมเลกุลและเกิดเป็นความร้อน ซึ่งคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการทำแห้งโดยทั่วไปมีความถี่อยู่ในช่วง 300-3,000 MHz แต่ความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้เชิงอุตสาหกรรมจะอยู่ที่ 2,450 MHz และ 915 หรือ 896 MHz (สั๊กมน, 2555) โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการทำแห้งแบบใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับการทำแห้งวิธีอื่นๆ เช่น การทำแห้งแบบสุญญากาศ และการทำแห้งแบบระเหิด Yanin (2003) ได้ศึกษาถึงผลของการทำแห้ง 3 ชนิด คือ เตาอบไฟฟ้า เตาอบไมโครเวฟ และเตาอบฮีทปั๊มความร้อน โดยจะทำการทดลองกับกุหลาบ 2 สายพันธุ์ คือ Hybrid tea และ Miniature โดยที่เครื่องอบแห้งแบบเตาอบไฟฟ้าอบที่ 2 อุณหภูมิ คือ 60°C และ 70°C พันธุ์ Hybrid tea ทำการอบแห้งเป็นระยะเวลา 16, 18 และ 20 ชั่วโมง พันธุ์ Miniature ทำการอบแห้งเป็นระยะเวลา 12, 14 และ 16 ชั่วโมง ทำการอบแห้งดอกกุหลาบเป็นจำนวน 20 ดอก อบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟใช้เวลา 2 และ 4 นาที ส่วนการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน ทำการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิประมาณ 50°C เป็นเวลา 50 และ 40 ชั่วโมง พบว่า คุณภาพสีของดอกกุหลาบภายหลังอบแห้งสำหรับพันธุ์ Hybrid tea เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระยะเวลาของการอบแห้งนานขึ้น วิธี การอบแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าเป็นเวลา 16 ชั่วโมง และอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที เป็นวิธีการที่ดีที่สุดที่ทำให้คุณภาพสีมีค่าสีเทียบเท่ากับค่าสีอ้างอิง แต่การอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนเป็นวิธีที่กลีบดอกไม้มีความทนทาน แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบใช้คลื่นไมโครเวฟวัสดุจะมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟไปเป็นพลังงานความร้อนได้มากขึ้นเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งอาจทำให้วัสดุเสียหายได้ง่ายเนื่องจากได้รับความร้อนที่มากเกินไป เพราะฉะนั้น กระบวนการอบแห้งแบบระเหิดจึงเป็นทางเลือกใหม่วิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาผลกระทบจากความร้อนต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับ

เทคนิคการทำแห้งทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับวัตถุดิบตั้งต้น เช่น รูปร่าง ลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น และอื่นๆ อีกทั้งยังมีศักยภาพการคืนตัวของผลิตภัณฑ์สูง (Chokri, 1997)

2.3 กระบวนการทำแห้งแบบระเหิด

กระบวนการทำแห้งแบบระเหิด ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การแช่เยือกแข็ง การทำแห้งระยะที่ 1 (Primary drying) และการทำแห้งระยะที่ 2 (Secondary drying) ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งจะเป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเพื่อให้ในผลิตภัณฑ์สร้างผลึกเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง ระยะที่ 1 เป็นการลดความดันสุญญากาศลงจนต่ำกว่าเส้นขอบเขตของการเปลี่ยนสถานะ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ การทำแห้งระยะที่ 2 เป็นการกำจัดน้ำที่อยู่ในรูปของพันธะกับสารอื่น (Bound water) การทำแห้งนี้เรียกว่า “Desorption” (ปັນณธร, 2547) จากการศึกษาของ Tein และคณะ (1998) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบขึ้นแคโรทที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดกับการทำแห้งแบบ vacuum microwave และการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการทำแห้งแบบระเหิดที่สภาวะความดันเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตรปรอทอุณหภูมิใน chamber 20 องศาเซลเซียส และ คอนเดนเซอร์อุณหภูมิเท่ากับ -50 องศาเซลเซียส ขึ้น แคโรท ที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดจะมีอัตราการคืนตัวของ อุณหภูมิ น้ำ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการคืนตัวสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเป็น 100 องศาเซลเซียส จะช่วยลดเวลาในการคืนตัวลงอย่างมีนัยสำคัญ สี, ความหนาแน่น, คุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติเนื้อสัมผัสการอบแห้งแบบระเหิดขึ้นแคโรทจะมี α -แคโรทีน และปริมาณวิตามิน C สูงกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน แต่ความหนาแน่นต่ำกว่า, เนื้อสัมผัสนุ่มกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน แคโรทที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อน (AD) จะมีสีเข้มและมีสีแดงอ่อนและสีเหลืองน้อยการเสื่อมสภาพของสีน้อยเกิดขึ้นเมื่ออบแห้งแบบระเหิดจึงถูกนำมาใช้ อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญของการทำแห้งแบบระเหิด คือ การใช้เวลาทำแห้งเป็นเวลานานซึ่งจะใช้พลังงานสูง และค่าใช้จ่ายสำหรับการลงทุนสูง ส่วนหนึ่งเนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในที่ต่ำ จากการศึกษาของ Huang, 2010 พบว่า microwave-freeze drying จะใช้เวลาและพลังงานต่ำกว่าการทำแห้งแบบ Freeze drying นอกจากนี้ Chokri (1997) พบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อเกณฑ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (รูปร่าง, สี, เนื้อสัมผัส, อัตราการคืนตัว) คือ ความดัน และอุณหภูมิ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 การเตรียมดอกไม้ก่อนทำแห้ง

3.1.1 เดินทางเข้าพื้นที่แปลงเกษตรกรรม สํารวจพันธุ์กุหลาบ ร่วมกับเจ้าหน้าที่มูลนิธิโครงการหลวง ทำการศึกษาและคัดพันธุ์กุหลาบพันธุ์ต่างๆที่คาดว่าจะเหมาะสมในการทำแห้งแบบระเหิด

3.1.2 ศึกษาสายพันธุ์ ลักษณะขนาดของดอกกุหลาบที่เหมาะสมต่อการนำมาทำแห้ง

3.1.3 ศึกษากระบวนการเตรียมดอกกุหลาบเพื่อใช้สำหรับทำแห้งเพื่อให้ดอกกุหลาบแห้งคงสภาพใกล้เคียงกับดอกสดมากที่สุด

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาภาชนะสำหรับกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดและการทดสอบคุณภาพดอกกุหลาบ

3.2.1 เตรียมวัสดุุดิบ

การทดลองใช้ดอกกุหลาบ 7 สายพันธุ์ ได้แก่ Grand Gala (ดอกสีแดง), Twilight (ดอกสีโอรส), Persia (ดอกสีชมพู), Gold Strike (ดอกสีเหลือง), Prince dream (ดอกสีชมพูอ่อน), Cinderella (ดอกสีชมพูเหลืองขาว), Josephin (ดอกสีขาว) ที่ได้รับจากมูลนิธิโครงการหลวง ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งเรา บ้านป่าเลา ตำบลสะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ มาทำการทดลอง ซึ่งเริ่มจากการนำดอกกุหลาบสดแต่ละสายพันธุ์มาตัดก้านออกให้เหลือประมาณ 2-3 เซนติเมตร และแบ่งดอกกุหลาบส่วนหนึ่งมาพ่นสเปรย์ตากให้แห้ง แล้วนำดอกกุหลาบทั้งแบบสดและพ่นสเปรย์บรรจุลงบนถาดไข่ทั้งแบบหุ้ม และไม่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์ วางบนถาดอลูมิเนียมสำหรับทำแห้งขนาดกว้าง 16 นิ้ว ยาว 21 นิ้ว และสูง 2 นิ้ว



รูปที่ 3.1 ดอกกุหลาบสดทั้ง 7 สายพันธุ์ (ก) Josephin (ข) Twilight (ค) Prince Dream (ง) Grand Gala (จ) Cinderella (ฉ) Persia (ช) Gold Strike



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมดอกกุหลาบสด (ก.) และการพ่นสเปรย์ดอกกุหลาบสด (ข.)



รูปที่ 3.3 การจัดเรียงดอกกุหลาบบนถาดไข่ที่หุ้มอลูมิเนียมฟอยล์

3.2.2 การทำแห้งแบบระเหิด

นำตัวอย่างที่บรรจุในถาดอลูมิเนียมไปทำแห้งในเครื่อง Kryo 'D Fz. โดยวางเรียงบนชั้นวางสินค้า และวัดอุณหภูมิใจกลางตัวอย่าง (core temperature) ด้วยโพรบวัดอุณหภูมิ (probe) ประเภท RTD (Resistance Temperature Detectors) เสียบโพรบ ให้ปลายโพรบลึกลงไปที่กลางดอกตัวอย่าง และวางดอกกุหลาบในตำแหน่งจุดกึ่งกลางถาด ซึ่งสภาวะการทำแห้งแบบระเหิดแสดงดังตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง Kryo "D" Fz. มีดังต่อไปนี้

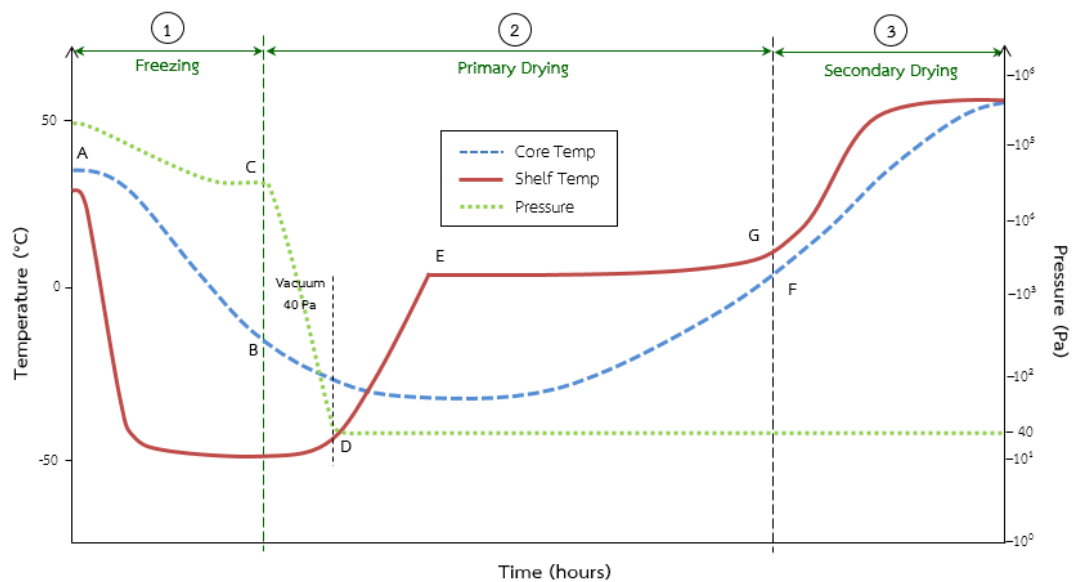
1. การแช่เยือกแข็ง (Freezing) ระบบทำความเย็นจะให้ความเย็นชั้นวางสินค้าจนได้อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างลดลงจากอุณหภูมิห้องจนเท่ากับ -20 องศาเซลเซียส (จากจุด A ไปจุด B ดังรูปที่ 3.4) จึงสิ้นสุดขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง

2. การทำแห้งระยะที่ 1 (Primary drying) ช่วงนี้สามารถตั้งค่าได้ ซึ่งน้ำส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกด้วยการระเหิด โดยเริ่มจากการลดความดันภายในห้องทำแห้งให้ต่ำกว่า 40 พาสคาล ในช่วงนี้อุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างและชั้นวางตัวอย่างจะลดลงตามแรงดัน (จากจุด C ไปจุด D) เมื่อเข้าสู่สภาวะสุญญากาศแล้ว เครื่องจะจ่ายความร้อนให้กับชั้นวางสินค้า จนกระทั่งชั้นวางสินค้ามีอุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้และรักษาอุณหภูมิให้คงที่ (จากจุด D ไปจุด E) ทำให้อุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนอุณหภูมิใจกลางตัวอย่างมีค่าต่างกับอุณหภูมิชั้นวางสินค้า 3 องศาเซลเซียส (จากจุด E ไปจุด G และ F)

3. การทำแห้งระยะที่ 2 (Secondary drying) จะเพิ่มความร้อนให้กับชั้นวางสินค้ามากขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ดังตารางที่ 3.1 โดยอุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเร็วขึ้น ซึ่งเป็นการระเหยน้ำในตัวอย่าง จนค่าอุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างมีค่าเท่ากับอุณหภูมิชั้นวางตัวอย่าง ซึ่งจะบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของชั้นวางสินค้า อุณหภูมิใจกลางตัวอย่าง และเวลาจากเครื่องเพื่อนำมาสร้างกราฟระหว่างเวลา และอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนหลักและสภาวะอุณหภูมิและความดันที่กำหนดให้กับเครื่อง Kryo 'D Fz. สำหรับการทดลองที่ 2

สภาวะของการทำแห้ง	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ความดัน
Freezing	-20	ความดันบรรยากาศ
Primary drying แบ่งเป็น 3 ขั้น	Step 1 : -10 Step 2 : 0 Step 3 : 10	<40 Pa
Secondary drying	30	<40 Pa



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนของอุณหภูมิขึ้นวางสินค้า อุณหภูมิตัวอย่าง และความดันของอากาศระหว่างการทำแห้งแบบระเหิด

3.2.3 การเก็บตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้ง

ในการบรรจุจะเก็บรักษาตัวอย่างในห้องที่มีการควบคุมสภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 30-40 %RH



รูปที่ 3.5 ห้องควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

3.2.4 การทดสอบคุณภาพดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้ง

3.2.4.1 เปอร์เซนต์ผลได้หลังการทำแห้ง (%Yield)

นำค่าของน้ำหนักตัวอย่างดอกกุหลาบแบบสุ่มสายพันธุ์ที่ได้ทั้งก่อนการทำแห้ง และหลังการทำแห้ง มาคำนวณหาเปอร์เซนต์ผลได้ ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Yield (\%)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย W_1 คือ มวลของผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้ง (g)

W_2 คือ มวลของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง (g)

3.2.4.2 ความชื้น (Moisture content)

นำตัวอย่างดอกกุหลาบแบบสุ่มสายพันธุ์และขนาดดอกทั้งก่อนและหลังการทำแห้งมาตรวจวิเคราะห์ โดยบดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในภาชนะตอโลหะนิยมน้อยประมาณ 3–5 กรัม เกลี่ยตัวอย่างให้ทั่วภาชนะโดยวัดความชื้นด้วย เครื่อง Moisture Analysis (MA37-1, Sartorius) อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จำนวน 5 ชั่วโมง สามารถอ่านค่าเปอร์เซนต์ความชื้นจากการแสดงผลทางหน้าจอ



รูปที่ 3.6 การวัดค่าความชื้นตัวอย่างดอกกุหลาบ

3.2.4.3 วอเตอร์แอกติวิตี (Water activity)

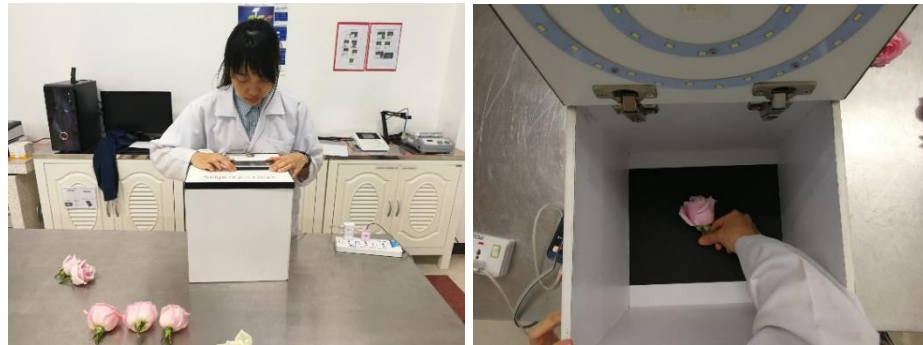
นำตัวอย่างกุหลาบแบบสุ่มสายพันธุ์และขนาดดอกที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหยประมาณ 2 กรัม วัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (รุ่น Decagon Model, AquaLab, สหรัฐอเมริกา) จำนวน 3 ชั่วโมง

3.2.4.4 สี (Color)

ในการตรวจวัดค่าสีนำตัวอย่างกุหลาบแต่ละสายพันธุ์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ใช้การตรวจวัดด้วยภาพถ่ายโดยนำตัวอย่างก่อนและหลังการทำแห้งไปวางในกล่องสำหรับถ่ายรูปจากนั้นถ่ายรูปจากมุมสูงนำรูปภาพที่ได้มาวิเคราะห์สี โดยใช้โปรแกรม Photoshop CS5 Portable และคำนวณหาความแตกต่างของสีจากสมการที่ 3.2 (Phoungchadang และSaentaweek, 2011)

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

โดย ΔL^* คือค่าความแตกต่างของค่า L^* ระหว่างผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังทำแห้ง
 Δa^* คือค่าความแตกต่างของค่า a^* ระหว่างผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังทำแห้ง
 Δb^* คือค่าความแตกต่างของค่า b^* ระหว่างผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังทำแห้ง



รูปที่ 3.7 การตรวจวัดสีด้วยภาพถ่าย

3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาอุณหภูมิทำแห้งระยะสองในกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดและการทดสอบคุณภาพดอกกุหลาบ

3.3.1 เตรียมวัตถุดิบ

การทดลองใช้ดอกกุหลาบเกรด 2 และ 3 ที่ได้รับจากมูลนิธิโครงการหลวง ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งเรา บ้านป่าเลา ตำบลสะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ มาศึกษาโดยเริ่มจากการนำดอกกุหลาบสดมาพ่นสีสเปรย์ยี่ห้อ design master และตากให้แห้ง และตัดก้านออกให้เหลือประมาณ 2-3 เซนติเมตร แล้วนำดอกกุหลาบบรรจุลงบนถาดไข่ และวางถาดไข่บนถาดอลูมิเนียมสำหรับทำแห้งขนาดกว้าง 16 นิ้ว ยาว 21 นิ้ว และสูง 2 นิ้ว ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การเตรียมกุหลาบสำหรับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

3.3.2 การทำแห้งแบบระเหิด

นำตัวอย่างที่บรรจุในภาตอลูมิเนียมไปทำแห้งในเครื่อง Kryo 'D Fz. โดยวางเรียงบนชั้นวางสินค้า และวัดอุณหภูมิใจกลางตัวอย่างด้วยโพรบวัดอุณหภูมิ โดยเสียบโพรบเข้าที่บริเวณฐานดอกกุหลาบ ให้ปลายโพรบลึกลงไปในตัวอย่างประมาณ 1.5 เซนติเมตร (รูปที่ 3.9) และวางดอกกุหลาบในตำแหน่งจุดกึ่งกลางภาต ซึ่งสภาวะการทำแห้งแบบระเหิดแสดงดังตารางที่ 3.2 ส่วนขั้นตอนการทำงานของเครื่อง Kryo "D" Fz. จะดำเนินการเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.2.2



รูปที่ 3.9 การเสียบโพรบวัดอุณหภูมิในตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 ขั้นตอนหลักและสภาวะอุณหภูมิและความดันที่กำหนดให้กับเครื่อง Kryo 'D Fz. สำหรับการทดลองที่ 3

สภาวะของการทำแห้ง	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ความดัน
Freezing	-20	ความดันบรรยากาศ
Primary drying แบ่งเป็น 3 ขั้น	Step 1 : -10 Step 2 : 0 Step 3 : 10	<40 Pa
Secondary drying	20, 30, 40	<40 Pa

3.3.4 การทดสอบคุณภาพดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้ง

วิเคราะห์คุณภาพดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งเพื่อให้ได้สภาวะในการทำแห้งที่ดีที่สุด โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพต่างๆ ได้แก่ ความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี และสี ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังหัวข้อที่ 3.2.4.2 – 3.2.4.4 นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ผลได้หลังการทำแห้ง ที่มีวิธีการวิเคราะห์ดังหัวข้อที่ 3.2.4.1 และเมื่อได้สภาวะในการทำแห้งที่ดีที่สุดแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ ซอร์พชันไอโซเทอร์มของน้ำ (Water sorption isotherm)

3.2.4.1 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของน้ำ (Water sorption isotherm)

นำตัวอย่างกุหลาบหลังการทำแห้ง 5 กรัม มาไว้ในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สมดุลอยู่ในช่วง 11 – 82 เปอร์เซ็นต์ สร้างสภาวะเหล่านี้ด้วยการใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวที่เตรียมจาก เกลือลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) เกลือโพแทสเซียมอะซิเตต (CH_3COOK) เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) เกลือโพแทสเซียม (K_2CO_3) เกลือโซเดียมโบรไมด์ (NaBr) เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โดยนำไปละลายในน้ำกลั่น ซึ่งดัดแปลงจาก Muzaffar and Kumar (2016) นำสารละลายเกลือแต่ละชนิดใส่ในแต่ละเดซิเคเตอร์ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 4 สัปดาห์) เพื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นฐานแห้ง กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลจาก 5 สมการ เพื่อหาสมการที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยมีสมการดังต่อไปนี้

1. สมการ Henderson model

$$a_w = 1 - \exp[-A \times T \times M_e^B] \quad (3.3)$$

2. สมการ Modified Henderson model

$$a_w = 1 - \exp[-A \times (T + C) \times M_e^B] \quad (3.4)$$

3. สมการ Modified-Chung-Pfost model

$$a_w = \exp\left[\left(\frac{-A}{(T+C)}\right) \exp(-B \times M_e)\right] \quad (3.5)$$

4. สมการ Modified Halsey model

$$a_w = \exp\left[\left(\frac{-A}{(R \times T)}\right) \times M_e^{-B}\right] \quad (3.6)$$

5. สมการ Halsey model

$$a_w = \exp[-\exp(A + C \times T) \times M_e^{-B}] \quad (3.7)$$

ซึ่งเพื่อหาสมการที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากที่สุด สามารถประเมินได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(coefficient of determination; R^2) ที่มีค่าสูงที่สุดของแต่ละสมการจากสมการที่ 3.8 และประเมินจากค่า chi-square (χ^2) ที่มีค่าต่ำที่สุด สามารถคำนวณได้ได้จากสมการที่ 3.9

$$R^2 = 1 - \frac{\text{SSE}}{\text{SST}} \quad (3.8)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{(N-z)} \quad (3.9)$$

โดยค่าการประมาณความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (Standard Error of Estimate; SEE) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.10

$$\text{SEE} = \sqrt{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3.10)$$

และค่าความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูล (Total sum of squares; SST) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.11

$$SST = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.11)$$

เมื่อ y_i = ค่าปริมาณความชื้นฐานแห้งที่ได้จากการทดลอง
 $\bar{y}_i$ = ค่าปริมาณความชื้นฐานแห้งเฉลี่ยของผลการทดลอง
 $\hat{y}_i$ = ค่าปริมาณความชื้นฐานแห้งที่ได้จากการคำนวณ
 N = จำนวนการทดลอง
 Z = จำนวนตัวแปรในแบบจำลอง

3.4 การทดลองที่ 4 การเพิ่มมูลค่าของไม้ประดับแห้ง

3.4.1 เชิญนักจัดดอกไม้ อาจารย์สอนจัดดอกไม้ และเจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่จัดดอกไม้ของโครงการบุหงา มาทำการออกแบบและจัดดอกไม้เพื่อทำเป็นตัวอย่างของการนำดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิดไปใช้งานต่อไป

3.4.2 ประเมินการตลาดของดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิด โดยคณะผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิด ซึ่งใช้แบบสอบถามเป็นภาษาไทยจำนวน 100 ชุด ซึ่งแบบสอบถามประกอบด้วย คำถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคล และเป็นคำถามเกี่ยวกับดอกกุหลาบแห้ง

ตัวอย่างแบบสอบถามความพึงพอใจกุหลาบแห้ง

คำชี้แจง 1. แบบสอบถามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับกุหลาบแห้งเพื่อใช้ในการศึกษาด้านการตลาดของกุหลาบแห้ง โดยแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ตอน ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ตอนที่ 2 ข้อมูลสอบถามเกี่ยวกับดอกไม้ ตอนที่ 3 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

2. กรุณาประเมินความพึงพอใจโดย เขียนเครื่องหมาย / ในช่อง ☐

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ ☐ หญิง ☐ ชาย
2. อายุ ☐ 21-30 ปี ☐ 31-40 ปี ☐ 41-50 ปี ☐ 51-60 ปี ☐ 61 ปีขึ้นไป
3. วุฒิก่อนการศึกษาระดับสูงสุด ☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
4. อาชีพ ☐ รับราชการ ☐ พนักงานบริษัท ☐ ร้านขายดอกไม้ ☐ ธุรกิจนำเข้า / ส่งออก
☐ ธุรกิจงานศพ ☐ ธุรกิจสอนจัดดอกไม้ ☐ พ่อค้าคนกลาง ☐ เกษตรกรสวนดอกไม้
☐ อื่น ๆ _____

ตอนที่ 2 ข้อมูลสอบถามเกี่ยวกับดอกไม้

1. ท่านชอบกุหลาบชนิดนี้หรือไม่ ☐ ชอบ ☐ ไม่ชอบ
2. ท่านชอบกุหลาบชนิดนี้เพราะอะไร
.....
3. ดอกกุหลาบที่จัดแสดงสีไหนที่ท่านชอบ
.....
4. หากมีกุหลาบชนิดนี้วางจำหน่าย ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่ ☐ ซื้อ ☐ ไม่ซื้อ
หากซื้อท่านซื้อเพราะเหตุใด
.....
5. ถ้าหากท่านซื้อ ท่านจะซื้อกุหลาบชนิดนี้ในราคาดอกละเท่าไร
☐ 20-30 บาท ☐ 31-40 บาท ☐ 41-50 บาท ☐ มากกว่า 50 บาท
6. ดอกไม้ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใดมากที่สุด
☐ ตกแต่งโรงแรม ☐ วาเลนไทน์ ☐ ของขวัญสำหรับเทศกาลต่างๆ ☐ ตกแต่งบ้าน
☐ ใช้ในโรงเรียนสอนจัดดอกไม้ ☐ งานแต่งงาน ☐ อื่นๆ.....

ตอนที่ 3 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ 1 การเตรียมดอกไม้ก่อนทำแห้ง

ทีมวิจัยได้เดินทางสำรวจพื้นที่แปลงเกษตรกรและสายพันธุ์ของดอกกุหลาบร่วมกับเจ้าหน้าที่มูลนิธิโครงการหลวง ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งเรา บ้านป่าเลา ตำบลสะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ในวันที่ 16 สิงหาคม 2560 ซึ่งงานของมูลนิธิโครงการหลวงศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งเรา ดำเนินงานในด้านส่งเสริมการปลูกพืชผัก ไม้ผลและไม้ดอก จนสามารถพัฒนาและส่งเสริมทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และ วัฒนธรรม พร้อมทั้งได้ส่งเสริมการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ส่งเสริมอาชีพแก่เกษตรกรโดยยังมุ่งเน้นการผลิตภายใต้โรงเรือนเป็นหลักสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเป็นอย่างดี สำหรับไม้ดอกที่ทำการส่งเสริมมี 2 ชนิด ได้แก่ กุหลาบ และเยอบีร่า ลักษณะการดำเนินงานของศูนย์ฯ ในการจัดการดอกกุหลาบนั้น เกษตรกรเป็นผู้ปลูกกุหลาบแล้วนำมาส่งขายยังศูนย์ฯ ทุ่งเรา ดังรูปที่ 4.2 จากนั้นจะมีเจ้าหน้าที่คอยดำเนินการคัดเลือกดอกกุหลาบต่อไป



รูปที่ 4.1 พื้นที่แปลงกุหลาบของเกษตรกร บ้านป่าเลา ตำบลสะเมิงใต้ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 4.2 เกษตรกรนำดอกกุหลาบมาขายยังศูนย์ฯ ทุ่งเรา



รูปที่ 4.3 ลักษณะกุหลาบที่เกษตรกรนำมาส่งขายยังศูนย์ฯ พังงา

สำหรับการคัดเลือกดอกกุหลาบตาม Spec ที่กำหนด ถ้าดอกกุหลาบที่ไม่ตรงตาม Spec ก็จะเป็นกุหลาบตกเกรด โดยมีลักษณะเช่น กลีบดอกบานเกินไป ก้านสั้น เป็นต้น ดอกที่สมบูรณ์ก็จะนำไปห่อโดยใช้กระดาษลูกฟูกลักษณะเป็นแถวๆ ดังรูปที่ 4.5 เพื่อขนส่งต่อไป



รูปที่ 4.4 กระบวนการคัดเกรดและห่อดอกกุหลาบ



รูปที่ 4.5 กุหลาบที่ห่อเรียบร้อยแล้วเพื่อนำส่งต่อไป



รูปที่ 4.6 ลักษณะดอกกุหลาบที่ตกเกรด

4.1.1 เจ้าหน้าที่โครงการหลวงให้ข้อมูลดอกกุหลาบที่ออกเป็นจำนวนมากในช่วงฤดูฝน แต่จะมีดอกกุหลาบที่ตกเกรดเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นในงานวิจัยโครงการ “การพัฒนาระบบการแปรรูปดอกกุหลาบเชิงพาณิชย์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด” ได้ใช้ดอกกุหลาบที่ตกเกรดนี้สำหรับงานวิจัยฯ โดยทางโครงการหลวงจะเป็นผู้ดำเนินการในขั้นตอนของการคัดเลือกสีและกลิ่นของดอกกุหลาบก่อนส่งให้ทางลาดกระบังเพื่อนำไปทำแห้งแบบระเหิดต่อไป



รูปที่ 4.7 ทางศูนย์ฯ พุ่งเรา ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินงานของศูนย์

4.1.2 ก่อนหน้านี้โครงการหลวงได้เคยมีการทดลองนำดอกกุหลาบใส่ในกล่องพลาสติกที่บรรจุซิลิกาเจลเพื่อทดลองทำแห้งโดยใช้ซิลิกาเจลดูดซับความชื้น แต่ภายหลังก็ยังไม่ได้มีการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.8 ศูนย์ฯ พุ่งเราให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำแห้งดอกไม้ด้วยซิลิกาเจลเบื้องต้น



รูปที่ 4.9 ลักษณะดอกกุหลาบที่ทำแห้งโดยใช้ซิลิกาเจลดูดซับความชื้น

จากนั้นทางทีมวิจัยได้ดูงานในส่วนของการดอกไม้แห้งที่โครงการหลวงได้ดำเนินงานอยู่ มีหน้าร้านให้ลูกค้าได้เลือกชมสินค้ามากมาย และมีการออกบูธขายสินค้าในงานต่าง ๆ โดยดอกไม้แห้งรับมาจากหน่วยงานที่กรุงเทพฯ (ม.เกษตรฯ) แล้วมาจัดตามแบบ และมีบางส่วนที่จัดเสร็จเรียบร้อยแล้วมาจากทางกรุงเทพฯ แล้วก็ยังสามารถวางขายได้เลย



รูปที่ 4.10 หน้าร้านดอกไม้แห้งและการจัดแต่งดอกไม้แห้งแบบต่าง ๆ



รูปที่ 4.11 ลักษณะการตกแต่งดอกไม้แห้งแบบต่าง ๆ



รูปที่ 4.12 เยี่ยมชมร้านโครงการหลวง

นอกจากนี้ทีมวิจัยได้สำรวจตลาดดอกไม้และบริษัทส่งออกกล้วยไม้เกี่ยวกับสีที่ใช้ในการย้อมสีดอกไม้ พบว่า ในตลาดดอกไม้นิยมใช้ สีย้อม 3 กลุ่ม คือ สีสำหรับพ่นดอกไม้ สีสำหรับย้อมดอกไม้ (โดยการนำดอกจุ่มลงสี) และสีสำหรับให้ดอกไม้ดูดีเพื่อให้สีลำเลียงไปตามท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ซึ่งนอกจากสีดูดีที่สั่งซื้อจากต่างประเทศแล้วทางบริษัทส่งออกกล้วยไม้ให้ข้อมูลว่านิยมใช้สีผสมอาหารในการในการดูดีมากว่า



รูปที่ 4.13 การย้อมสีกล้วยไม้โดยใช้วิธีการดูดีสี(สีผสมอาหาร) ของบริษัทส่งออกกล้วยไม้

4.1.3 ศึกษาสายพันธุ์ ลักษณะขนาดของดอกกุหลาบที่เหมาะสมต่อการทำแห้ง โดยได้ส่งดอกกุหลาบทุกสีที่ตกเกรดที่ส่งโครงการหลวง สามารถนำมาจำแนกชนิดสีโดยใช้แผ่นเทียบสีของ Royal Horticulture เป็นตัวเทียบสี โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสีของดอกกุหลาบที่ใช้ในการวิจัย

ลักษณะดอกกุหลาบ			สีเมื่อเทียบกับ Royal Horticulture
			สีชมพู 55c
			สีชมพู 29C
			สีชมพู 73D
			สีชมพู 68C
			สีชมพู 65C

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงลักษณะสีของดอกกุหลาบที่ใช้ในการวิจัย

ลักษณะดอกกุหลาบ		สีเมื่อเทียบกับ Royal Horticulture	
			สีส้มอ่อน 41D
			สีส้มอ่อน 56C
			สีส้มอ่อน 29D
			สีส้มอ่อน 27D
			สีแดง

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงลักษณะสีของดอกกุหลาบที่ใช้ในการวิจัย

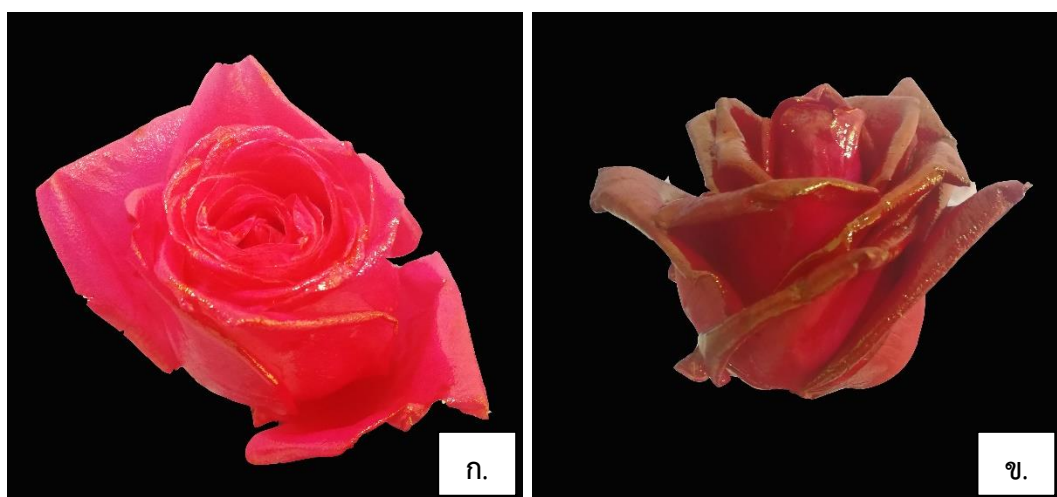
ลักษณะดอกกุหลาบ	สีเมื่อเทียบกับ Royal Horticulture
	สีขาว

4.1.4 นำดอกกุหลาบมาศึกษาวิธีการย้อมหรือพ่นสี โดยทำการศึกษา ดังนี้

1. ขบวนการย้อมโดยใช้ดอกจุ่มลงสี ในการทดลองในครั้งนี้ใช้สียี่ห้อ dipit โดยมีสี 5 สี คือ สีเหลือง สีฟ้า สีม่วง สีส้ม และสีแดง โดยใช้ดอกกุหลาบสดจุ่มลงในสีแล้วทำการตากให้สีแห้ง พบว่า สีดอกกุหลาบสีอ่อนเมื่อทำการจุ่มในสีเข้มจะได้สีที่ติดสม่ำเสมอสวยงาม แต่ในกรณีกุหลาบดอกสีเข้มเหมาะสำหรับสีย้อมที่มีสีเดียวกับสีกุหลาบ เช่น กุหลาบสีแดงเข้ม เหมาะกับสีจุ่มสีชมพู เป็นต้น



รูปที่ 4.14 สีจุ่มที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.15 กุหลาบที่ทำการจุ่มสีชมพู (ก) ดอกกุหลาบสีชมพู 29C (ข) ดอกกุหลาบสีแดง



รูปที่ 4.16 ดอกกุหลาบที่ผ่านการตากแห้งหลังจากจุ่มสี (ก) กุหลาบตากแห้งที่ไม่จุ่มสี (ข) กุหลาบที่จุ่มสีแล้วนำไปตากแห้ง

2. ขบวนการย้อมโดยใช้ก้านดอกจุ่มสีเพื่อให้ดอกกุหลาบดูดสี โดยการนำดอกกุหลาบสดมาแช่ในน้ำที่ผสมสีไว้ โดยใช้สี absorbit สีน้ำเงินและสีแดง สีสผสมอาหารทั้งแบบน้ำและแบบผง โดยใช้ระยะเวลาในการดูด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.17 ดอกกุหลาบสดหลังจากการดูดสี absorbit (ก) กุหลาบที่ไม่ได้ดูดสี (ข) กุหลาบที่ดูดสีแล้ว (ค) กุหลาบดอกสีเข้มหลังจากที่ดูดสี

หลังจากทำการดูดสีพบว่า ดอกกุหลาบที่สีอ่อนสามารถดูดสีได้โดยลักษณะการแสดงออกของสีจะปรากฏตามกลีบดอกโดยสีจะเดินทางตามท่อลำเลียงน้ำ ในกรณีดอกสีเข้มการดูดสีจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของสี

3. ขบวนการย้อมโดยใช้สีพ่นดอก โดยใช้สีสเปรย์ ยี่ห้อ design master พ่นดอกกุหลาบสด พบว่า ไม่ว่าจะเป็ดอกกุหลาบสีเข้มหรืออ่อนสามารถติดสีพ่นได้ดี



รูปที่ 4.18 สีสเปรย์ที่ใช้ในการพ่นสีดอกไม้



รูปที่ 4.19 การพ่นสีดอกกุหลาบสด



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างดอกกุหลาบสดหลังทำการพ่นสี

4.2 ผลการทดลองที่ 2 การศึกษาภาษาที่ใช้สำหรับการทำແບບประเห็ดดอกกุหลาบ

Diagram of a multi-level parking garage with 8 levels. Each level has a yellow ramp and a sign. The signs are:

- Level 8: กรุณาจอดรถที่ A B ชั้นนี้ D
- Level 7: กรุณาจอดรถที่ A, B
- Level 6: กรุณาจอดรถที่ A พลาตอก B, D
- Level 5: (empty)
- Level 4: กรุณาจอดรถที่ B พลาตอก A
- Level 3: กรุณาจอดรถที่ A, B, C
- Level 2: กรุณาจอดรถที่ B พลาตอก A
- Level 1: กรุณาจอดรถที่ A, B

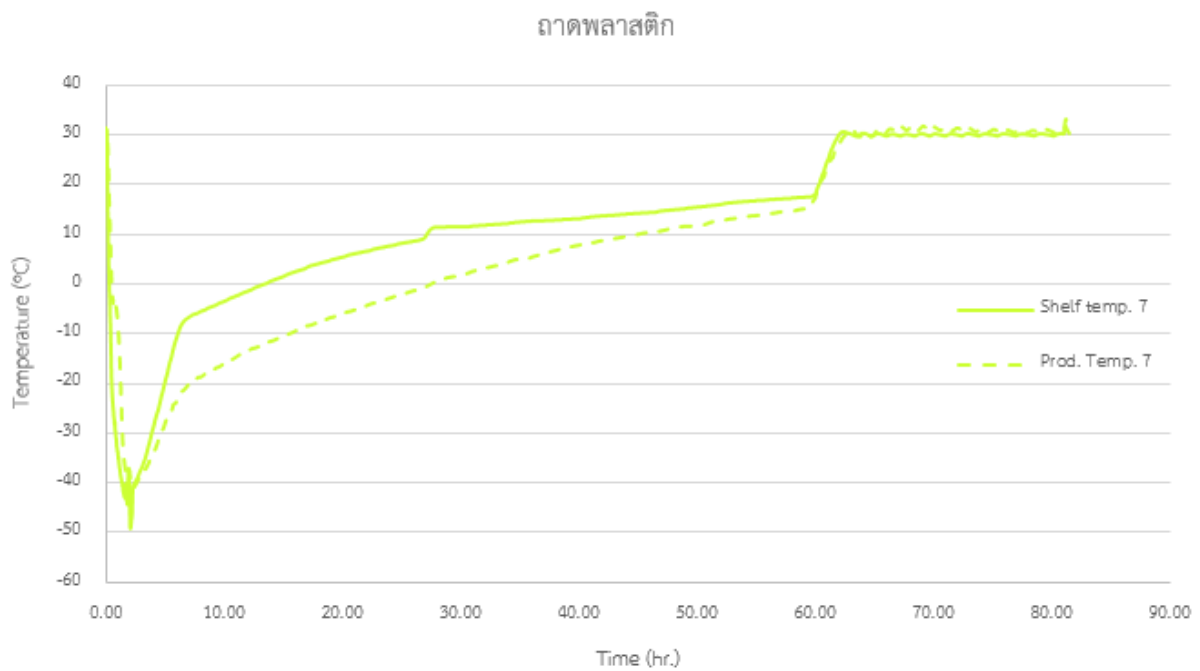
A black signpost with a white 'X' is on the right.



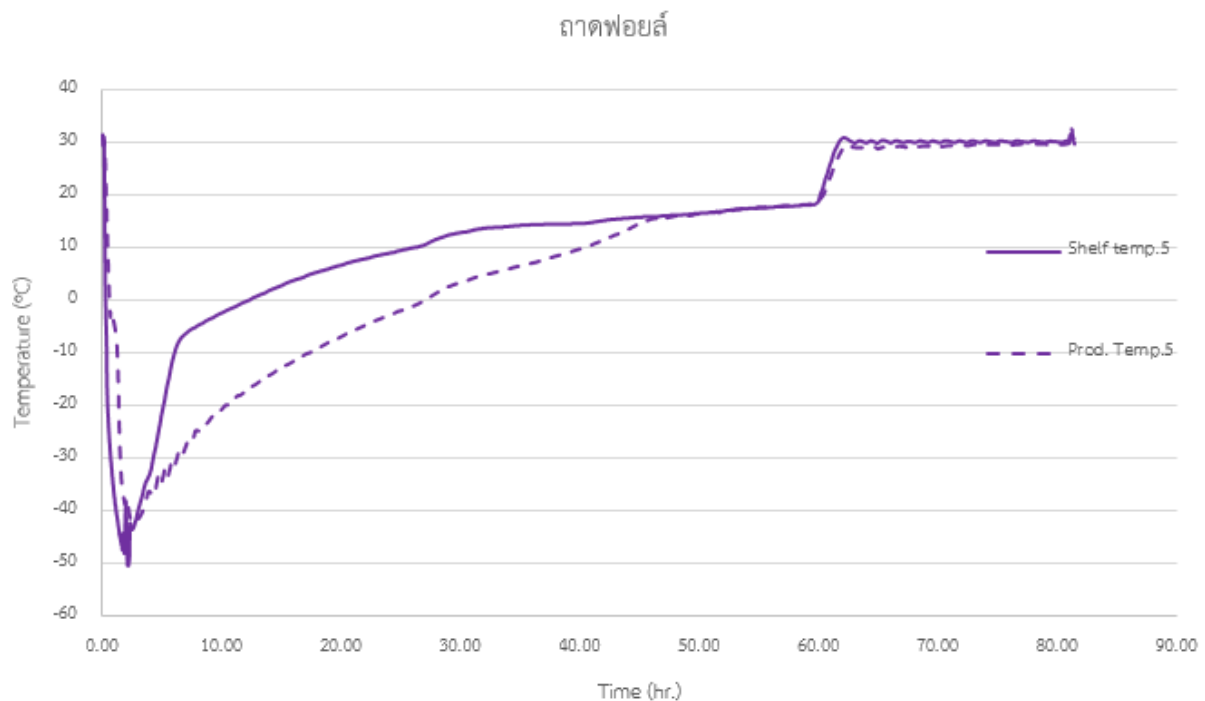
รูปที่ 4.21 การวางตัวอย่างดอกกุหลาบในเครื่อง Kryo ‘D’ Freezer



รูปที่ 4.22 การวัดอุณหภูมิใจกลางตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดอกกุหลาบ



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบที่วางบนถาดไข่พลาสติกกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเหิด

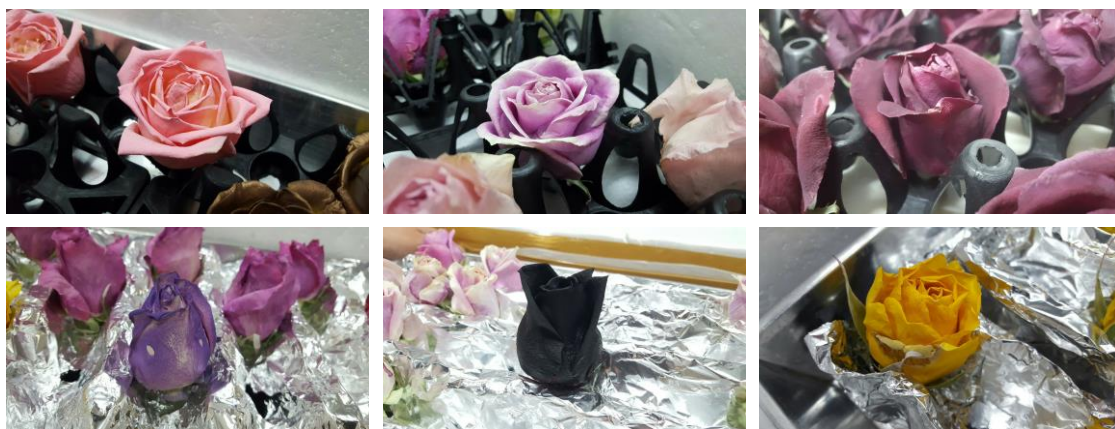


รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบที่วางบนถาดไซท์ที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์กับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเหิด

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาในกระบวนการทำแห้งของดอกกุหลาบ

ขั้นตอนการทำแห้ง	อุณหภูมิชั้น (°C)	อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ (°C)	ความดัน	ระยะเวลาการทำงาน (ชั่วโมง)	
				ถาดไซท์ที่ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์	ถาดไซท์พลาสติก
การแช่เยือกแข็ง	-50	-20	101.325 kPa	1.30	1.30
การทำแห้งระยะ 1	-10	-13	<40 Pa	-	-
	0	-3			
	10	7			
การทำแห้งระยะ 2	30	29	<40 Pa	79.30	80

โดยกราฟการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบด้วยภาชนะสำหรับการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในรูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบกับขั้นทำแห้งต่อเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง จากรูปแสดงให้เห็นถึงเวลาในการทำแห้งสำหรับภาชนะที่แตกต่างกันถูกแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าระยะเวลาในการทำแห้งด้วยถาดรังไข่พลาสติกและถาดรังไข่พลาสติกแบบห่ออลูมิเนียมฟอยล์ใช้เวลาใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 81 ชั่วโมง 30 นาที และ 81 ชั่วโมงตามลำดับ ดังนั้นการใช้ภาชนะในการทำแห้งด้วยถาดรังไข่พลาสติกและถาดรังไข่พลาสติกแบบห่ออลูมิเนียมฟอยล์ไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการทำแห้งของเครื่อง Kryo “D” Freeze จึงเลือกใช้ถาดรังไข่พลาสติกสำหรับทำแห้งแบบระเหิด



รูปที่ 4.25 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดอกกุหลาบหลังการทำแห้งแบบระเหิด

4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้นของดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้ง

ในการวิเคราะห์คุณภาพของดอกกุหลาบหลังการทำแห้งได้เลือกใช้ดอกกุหลาบที่ผ่านการทำแห้งแบบระเหิดด้วยภาชนะถาดรีงซ์ไพลาสติกไม่ห่ออลูมิเนียมฟอยล์ และการทำแห้งที่อุณหภูมิการทำแห้งระยะ 2 30 องศาเซลเซียส

4.2.1.1 เปอร์เซ็นต์ผลได้ของดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง (%Yield)

นำน้ำหนักของดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบสุ่มสายพันธุ์มาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ผลได้หลังการทำแห้ง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของดอกกุหลาบหลังการทำแห้งแบบระเหิดอยู่ในช่วง 12.25-15.19 เปอร์เซ็นต์

4.2.1.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

นำตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนแบบสุ่มสายพันธุ์และหลังการทำแห้งของแต่ละสายพันธุ์มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิด

สายพันธุ์ดอกกุหลาบ	ก่อนการทำแห้ง (% _{w.b.})	หลังการทำแห้ง (% _{w.b.})
Josephin (ดอกสีขาว)		15.5
Grand Gala (ดอกสีแดง) ใหญ่ และตูม		39.71
Grand Gala (ดอกสีแดง) เล็ก		12.20
Persia (ดอกสีชมพู)		9.72
Persia พันสีทอง	86.21±0.71	9.04
Cinderella พันสีม่วง		10.13
Gold Strike พันสีบรอนซ์		8.48
Grand Gala พันสีดำ		21.99
Prince dream พันสีชมพู		7.71

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้นฐานเปียกของตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้ง พบว่าหลังการทำแห้งตัวอย่างดอกกุหลาบจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยหลังการทำแห้งดอกกุหลาบสายพันธุ์ Grand Gala (ดอกสีแดง) ที่มีลักษณะดอกที่ใหญ่ และตูม จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกสูงที่สุด คือ 39.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดอกกุหลาบสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งพบว่าส่วนข้างในของดอกกุหลาบยังคงไม่แห้ง (รูปที่ 4.27) จึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณความชื้นโดยรวมสูงที่สุด และในสายพันธุ์เดียวกันแต่ขนาดดอกเล็กกว่าจะมีความชื้นที่ต่ำกว่าดอกใหญ่มาก ดังนั้นขนาดดอกที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำแห้งของเครื่อง Kryo “D” Freezer



ก.



ข.

รูปที่ 4.26 ตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิด (ก.) ก่อนการทำแห้งแบบระเหิด (ข.) หลังการทำแห้งแบบระเหิด



รูปที่ 4.27 ตัวอย่างดอกกุหลาบสายพันธุ์ Grand Gala ที่ข้างในไม่แห้ง

4.2.1.3 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity)

นำตัวอย่างดอกกุหลาบหลังการทำแห้งแบบสุ่มสายพันธุ์ในสภาวะ Primary drying 3 ชั้น ได้แก่ - 10, 0, 10 องศาเซลเซียส และทำแห้ง Secondary drying 30 องศาเซลเซียส ไปวิเคราะห์หาค่าวอเตอร์แอกติวิตีผลแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง

จำนวนซ้ำ	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้
1	0.505
2	0.567
3	0.471
4	0.618
5	0.520
6	0.494
7	0.515
เฉลี่ย	0.527 ± 0.050

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.527 ซึ่งวอเตอร์แอกติวิตี้เป็นค่าที่มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา หรือการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยในอาหารแห้งควรมีค่าต่ำกว่า 0.600 แต่ Grand Gala (ดอกสีแดง) มีค่าเกินกว่า 0.600 จึงอาจส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น

4.2.1.4 สีและความแตกต่างของสี (Color, ΔE)

นำตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งของแต่ละสายพันธุ์มาวิเคราะห์หาค่าสีและความแตกต่างของสี ผลแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าความแตกต่างของสีของตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิด

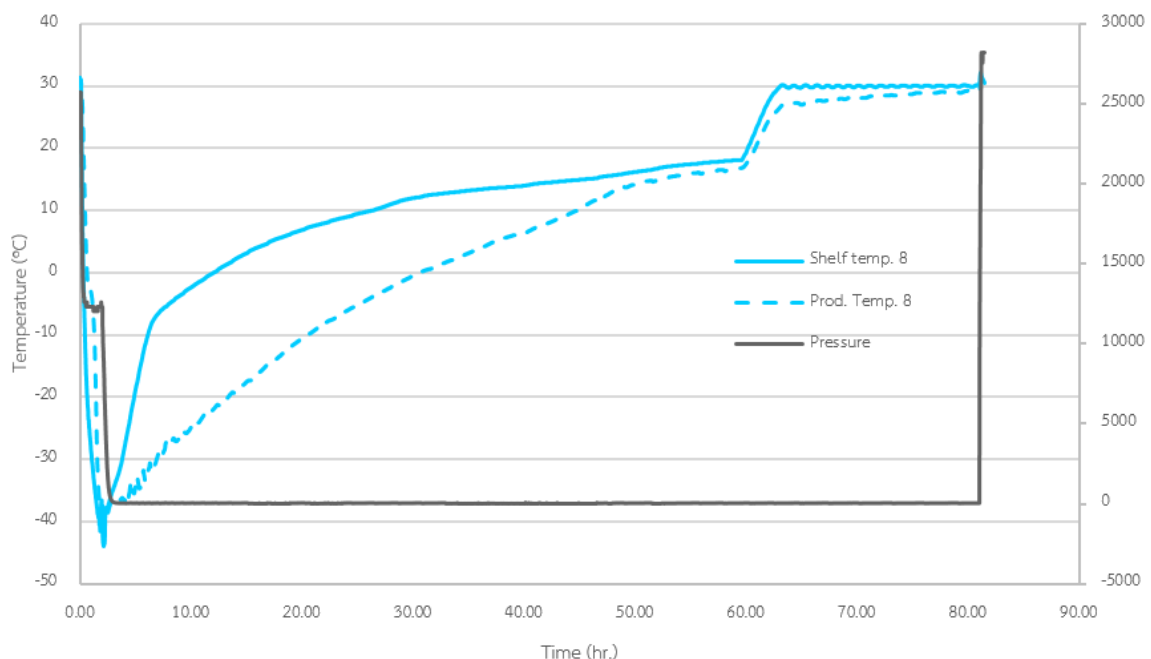
สายพันธุ์ดอกกุหลาบ	ก่อนการทำแห้ง			หลังการทำแห้ง			ΔE
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Grand Gala	55.21±4.67	54.03±2.98	6.71±10.09	48.17±4.91	38.31±4.11	-15.08±2.18	8.91±6.57 ^a
Twilight	59.24±3.05	34.55±3.34	17.58±3.88	46.78±4.31	37.61±6.28	0.98±4.04	22.34±2.88 ^b
Persia	58.30±2.52	44.02±4.27	-18.43±1.55	46.66±3.00	37.54±2.18	-23.98±3.24	14.96±2.59 ^a
Gold Strike	66.59±4.15	1.82±17.31	58.55±8.08	65.78±4.33	1.24±16.61	57.42±8.73	5.96±2.76 ^a
Prince dream	68.40±3.54	17.87±7.05	-1.25±2.52	65.87±4.44	13.55±4.68	-1.61±4.34	8.46±3.29 ^a
Cinderella	67.04±4.05	14.88±4.99	-7.33±2.42	60.47±3.32	14.69±4.84	-9.00±6.27	9.56±3.67 ^a
Josephin	74.27±2.06	-6.05±0.44	6.62±1.86	73.22±2.31	-5.14±1.36	14.75±3.83	8.85±3.20 ^a
Gold Strike (พันธุ์สีส้ม)	57.29±2.44	34.55±2.83	23.91±2.47	59.29±2.32	37.78±3.49	26.14±2.53	5.53±3.38 ^a
Prince dream (พันธุ์สีม่วง)	55.41±2.30	28.96±1.22	-28.27±2.22	55.83±2.52	27.91±0.64	-26.90±2.06	3.00±2.11 ^a
Cinderella (พันธุ์สีฟ้า)	48.52±2.80	2.39±1.59	-42.65±1.79	50.04±2.52	0.53±2.33	-41.29±2.15	4.19±2.28 ^a

หมายเหตุ: a และ b คือ อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

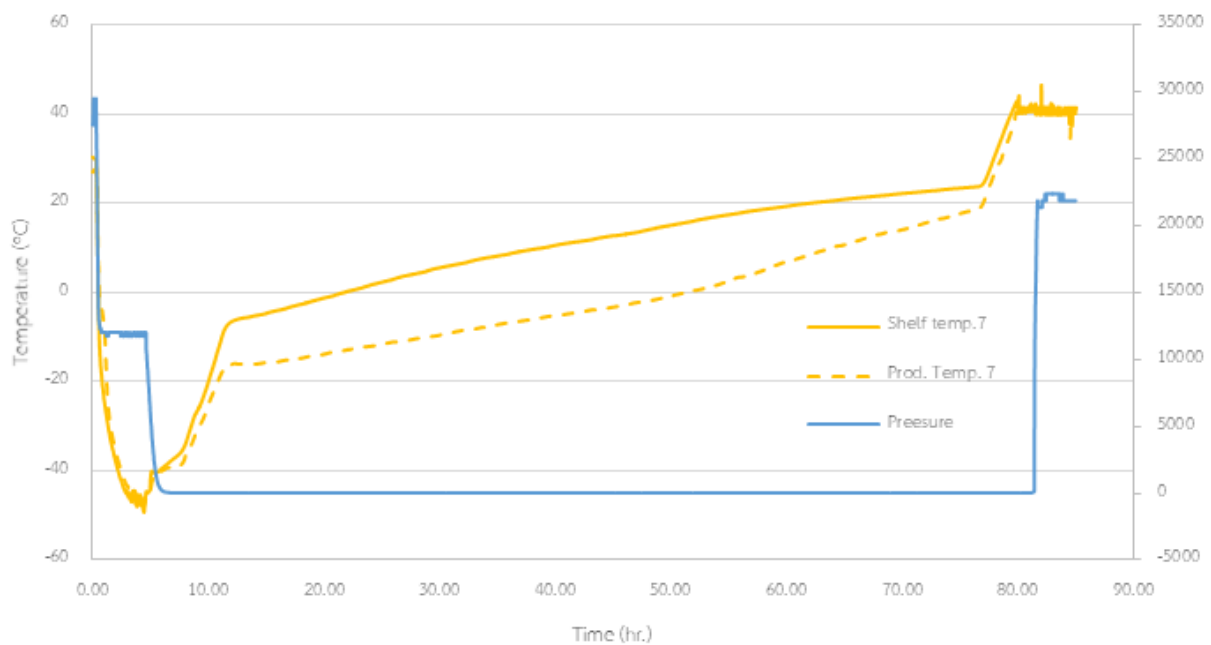
การศึกษาลักษณะสีของดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิดโดยใช้ระบบ CIE ซึ่งกำหนดค่า L^* , a^* และ b^* แสดงในตารางที่ 4.5 ค่าผลต่างของสี (ΔE) ในการทำแห้งแบบระเหิดมีค่าอยู่ระหว่าง 4.19 ถึง 22.34 ซึ่งกุหลาบสายพันธุ์ Twilight (ดอกสีโอรส) มีค่าผลต่างของสีสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกุหลาบอีก 6 สายพันธุ์ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดอกกุหลาบสายพันธุ์ Grand Gala (ดอกสีแดง) Persia (ดอกสีชมพู) และ Cinderella (ดอกสีชมพูเหลือบขาว) มีค่าความต่างของสีที่ 8.91 14.96 และ 9.56 ตามลำดับ โดยค่าความสว่างลดลงทำให้สีของดอกกุหลาบเข้มขึ้น และดอกกุหลาบสายพันธุ์ Gold Strike (ดอกสีเหลือง) Prince dream (ดอกสีชมพูอ่อน) และ Josephin (ดอกสีขาว) มีค่าความต่างของสีที่ 5.96 8.46 และ 8.85 ตามลำดับ โดยค่าความสว่างมีใกล้เคียงกับดอกกุหลาบสด และสำหรับดอกกุหลาบที่พันธุ์ก่อนการทำแห้งทำให้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงของสีลงได้

4.3. ผลการศึกษาอุณหภูมิสำหรับการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบ

เนื่องจากได้มีการศึกษาการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบในเบื้องต้น พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งระยะที่ 2 เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของดอกกุหลาบ ดังนั้นทางทีมวิจัยจึงได้ศึกษาอุณหภูมิสำหรับการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบเพิ่มเติมเพื่อหาอุณหภูมิการทำแห้งระยะ 2 ที่เหมาะสมและทำให้ดอกกุหลาบหลังการทำแห้งมีคุณภาพสูงสุด โดยเลือกใช้ภาชนะภาตรางไข่พลาสติกไม่ห่อลุมินิเยมฟอยล์ในการทำแห้ง ซึ่งระยะเวลาการทำแห้งแบบระเหิดของดอกกุหลาบจะแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งที่สภาวะอุณหภูมิการทำแห้งระยะ 2 แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเหิดที่สภาวะการทำแห้งระยะ 2 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดอกกุหลาบกับเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบระเบิดที่สภาวะการทำแห้งระยะ 2 40 องศาเซลเซียส

จากกราฟการทำแห้งแบบระเบิดที่สภาวะการทำแห้งระยะ 2 30 และ 40 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ จะเห็นถึงเวลาในการทำแห้งสำหรับการทำแห้งที่ 30 องศาเซลเซียส (ประมาณ 81 ชั่วโมง) จะใช้เวลาสั้นกว่าสภาวะอุณหภูมิทำแห้งระยะ 2 40 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาประมาณ 50 ชั่วโมง ดังนั้นที่สภาวะอุณหภูมิการทำแห้งระยะ 2 30 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ใช้เวลาทำแห้งเร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะเวลาในการทำแห้ง โดยรายละเอียดของระยะเวลาในการทำแห้งดอกกุหลาบจะแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ระยะเวลาในกระบวนการทำแห้งของดอกกุหลาบที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการทำแห้ง	อุณหภูมิชั้น (°C)	อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ (°C)	ความดัน	ระยะเวลาการทำงาน (ชั่วโมง)	
				30 °C	40 °C
การแช่เยือกแข็ง	-50	-20	101.325 kPa	1.30	1.13
การทำแห้งระยะ 1	-10	-13	<40 Pa	-	-
	0	-3			
	10	7			
การทำแห้งระยะ 2	Cond. 1 : 30	29	<40 Pa	80	84
	Cond. 2 : 40	39			

4.2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างดอกกุหลาบ

จากการศึกษาระยะเวลาการทำแห้งที่สภาวะอุณหภูมิทำแห้งระยะ 2 พบว่า ระยะเวลาในการทำแห้งที่ 30 องศาเซลเซียส สั้นที่สุด แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบ เนื่องจากในการทดลองทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดอกกุหลาบสายพันธุ์ Grand Gala (ดอกสีแดง) ที่มีลักษณะดอกที่ใหญ่ และตูม จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกสูงที่สุด คือ 39.71 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้างในของดอกกุหลาบยังคงไม่แห้ง ซึ่งส่งผลทำให้อายุการเก็บรักษาของดอกกุหลาบนั้นๆ สั้นลง ดังนั้นจึงต้องนำดอกกุหลาบมาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ เพื่อให้ได้ดอกกุหลาบหลังการทำแห้งมีคุณภาพสูงสุด

4.2.1.1 เปอร์เซ็นต์ผลได้ของดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง (%Yield)

การทดลองทำแห้งแบบระเหิดที่สภาวะแช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส การทำแห้งระยะ-ที่ 1 - 10 0 และ 10 องศาเซลเซียส และการทำแห้งระยะที่ 2 30 และ 40 องศาเซลเซียส ในการศึกษาจะใช้น้ำหนักที่ได้ก่อนและหลังทำแห้งแบบระเหิดมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของดอกกุหลาบที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการทำแห้งระยะ 2 (°C)	น้ำหนักก่อนทำแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลังทำแห้ง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ผลได้ (%Yield)
30	11.47	1.95	18.47±4.94 ^a
40	14.66	2.26	15.69±3.96 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร a หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของตัวอย่างดอกกุหลาบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าทำให้มีปริมาณความชื้นสูงกว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของดอกกุหลาบที่สภาวะการทำแห้ง 30 องศาเซลเซียส สูงที่สุด

4.2.1.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

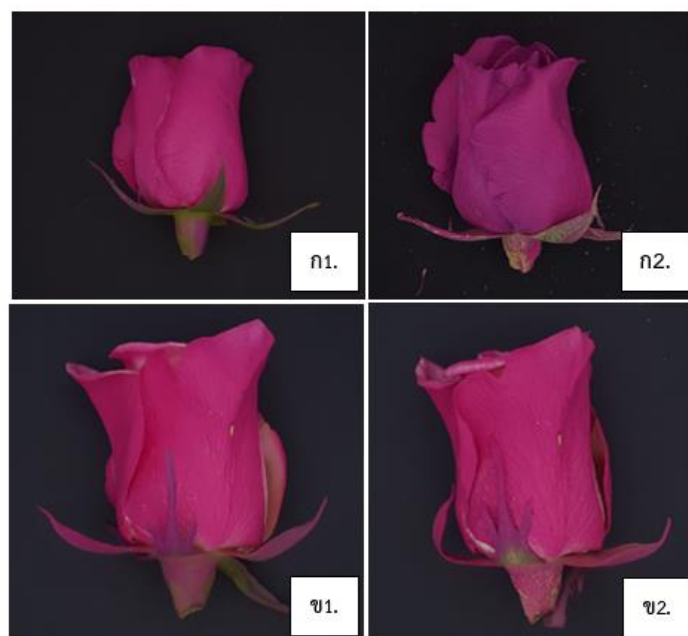
เมื่อนำตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ได้แก่ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอคทิวิตีผลแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของตัวอย่างดอกกุหลาบที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน

สภาวะการทำแห้งระยะ 2 (°C)	ก่อนการทำแห้ง (%MC _{w.b.})	หลังการทำแห้ง (%MC _{w.b.})	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี
30	86.21±0.72	18.90±3.26 ^b	0.563±0.057 ^b
40	80.44±2.15	8.53±1.54 ^a	0.466±0.006 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4.8 ปริมาณความชื้นฐานเปียกของตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้ง พบว่าหลังการทำแห้งดอกกุหลาบจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยหลังการทำแห้งดอกกุหลาบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกและค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูงกว่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.90 เปอร์เซ็นต์ และ 0.563 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกและค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 8.53 เปอร์เซ็นต์ และ 0.466 ตามลำดับ โดยค่าวอเตอร์แอกติวิตีเป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บในรูปแบบของแห้งควรจะมีวอเตอร์แอกติวิตีน้อยกว่า 0.6

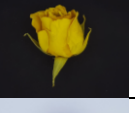
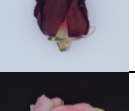
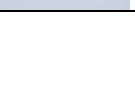


รูปที่ 4.30 ตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิต่างๆ (ก1.) ดอกกุหลาบที่พ่นสีแบบสดสำหรับ 30 องศาเซลเซียส (ก2.) ดอกกุหลาบที่พ่นสี 30 องศาเซลเซียส (ข1.) ดอกกุหลาบที่พ่นสีแบบสด และ (ค.) 40 องศาเซลเซียส

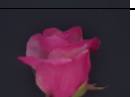
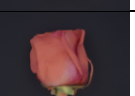
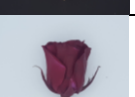
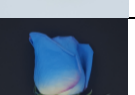
4.2.1.3 สีและความแตกต่างของสี (Color, ΔE)

นำตัวอย่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแต่ละสภาวะมาวิเคราะห์หาค่าสีและความแตกต่างของสีผลแสดงดังตารางที่ 4.9 จากการวิเคราะห์ พบว่า ทุกสภาวะการทำแห้งระยะ 2 ไม่มีผลต่อค่าสีของตัวอย่าง กล่าวคือ ตัวอย่างมีค่าสีใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$ และมีความเฉลี่ยความแตกต่างของสีทั้งหมด (ΔE) ระหว่างดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิดอยู่ในช่วง 5 – 6.7 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาของ Phoungchadang and Saentaweek (2011) ที่เปรียบเทียบค่าสีตัวอย่างก่อนและหลังการทำแห้ง ซึ่งมีค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดอยู่ในช่วง 8 – 11 และการศึกษาของ Erhan *et al.* (2017) พบว่าตัวอย่างก่อนและหลังการทำแห้งมีค่าความแตกต่างของสีทั้งหมดอยู่ในช่วง 17–20 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างหลังการทำแห้งมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีไปเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.9 ค่าความแตกต่างของสีดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่ต่างกัน

สภาวะการทำแห้งระยะ 2 (°C)	ลักษณะดอกกุหลาบ	ก่อนการทำแห้ง			หลังการทำแห้ง			ΔE	ΔE เฉลี่ย
		L*	a*	b*	L*	a*	b*		
30		79.04±1.89	-3.91±0.73	0.26±2.18	79.09±1.96	-3.03±0.68	-0.25±2.39	3.10±0.77	6.63 ± 4.18 ^a
		68.54±2.16	-6.84±1.19	72.41±1.83	67.30±1.56	-4.79±1.06	71.12±1.19	3.20±1.36	
		42.90±3.32	33.65±2.87	-42.71±2.29	41.28±4.18	29.82±2.52	-44.02±4.01	6.30±3.43	
		36.66±1.67	40.24±3.96	12.52±2.74	31.71±1.91	27.00±2.45	3.81±2.31	16.78±4.43	
		69.31±3.46	17.24±2.45	-2.07±1.37	68.24±1.88	14.27±3.60	-1.52±2.44	6.04±3.03	
		60.57±2.96	33.13±3.26	25.90±2.89	57.31±1.97	32.48±1.87	21.24±1.18	6.54±2.40	
		50.10±3.18	-0.43±2.85	-41.17±1.82	50.24±2.54	-1.51±2.58	-39.60±2.69	4.54±2.53	
		49.44±3.13	54.38±1.13	-6.36±4.78	47.75±1.35	49.71±1.11	-13.10±1.46	8.59±2.59	
		41.32±2.37	33.87±2.89	-67.62±1.72	40.61±1.89	31.59±2.13	-64.84±1.85	4.61±2.45	

ตารางที่ 4.9 ค่าความแตกต่างของสีดอกกุหลาบก่อนและหลังการทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่แตกต่างกัน (ต่อ)

สภาวะการทำแห้งระยะ 2 (°C)	ลักษณะดอกกุหลาบ	ก่อนการทำแห้ง			หลังการทำแห้ง			ΔE	ΔE เฉลี่ย
		L*	a*	b*	L*	a*	b*		
40		52.16±3.30	28.93±2.02	-29.92±1.61	51.94±2.85	27.10±1.87	-28.76±1.42	4.91±1.50	5.67 ± 1.79 ^a
		70.24±4.03	15.74±3.08	1.52±1.90	69.51±2.46	16.29±4.07	-0.28±2.89	4.79±1.78	
		38.63±2.05	29.29±1.91	-60.78±2.47	38.71±1.73	26.00±2.91	-57.55±2.52	5.41±2.31	
		47.55±4.03	56.15±2.84	-26.09±2.03	44.30±1.96	52.44±1.75	-30.19±1.86	7.05±1.60	
		53.31±2.83	56.20±1.85	-5.81±3.23	51.54±1.55	54.71±2.08	-3.75±2.21	4.74±1.95	
		58.91±1.61	35.43±2.07	27.05±2.55	57.28±1.61	33.43±1.33	20.96±1.88	7.07±3.55	
		32.34±4.60	34.23±6.80	0.59±3.83	34.07±4.57	27.65±5.97	-3.40±2.14	8.57±2.87	
		50.37±3.38	0.20±4.37	-43.10±3.44	49.12±2.57	1.51±1.63	-42.66±1.50	2.85±2.14	

หมายเหตุ: ตัวอักษร a ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.1.4 ซอร์พชันไอโซเทอร์มของน้ำ (Water sorption isotherm)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของตัวอย่างดอกกุหลาบ หลังการทำแห้งที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 8.53 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นเท่ากับ 0.474 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) โดยจากสมการจำลองที่ใช้อธิบายข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ทั้ง 5 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง Henderson แบบจำลอง Modified Henderson แบบจำลอง Modified Chung Pfof แบบจำลอง Halsey และแบบจำลอง Modified Halsey พบว่าแบบจำลองทั้งหมดมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) มากกว่า 0.9 (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่า chi-square ของแบบจำลองความชื้นสมดุลต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

แบบจำลอง	พารามิเตอร์					R^2	χ^2
	A	B	C	T	R		
Henderson	0.0407	1.7633	-	298.15	-	0.9543	0.0040
Modified Henderson	0.0613	1.7634	-100.0202	298.15	-	0.9727	0.0040
Modified Chung Pfof	334.5719	10.2255	-230.9099	298.15	-	0.9775	0.0033
Halsey	7.6759	1.9406	-	298.15	0.0083	0.9927	0.0011
Modified Halsey	1.0023	1.9436	-0.0157	298.15	-	0.9927	0.0011

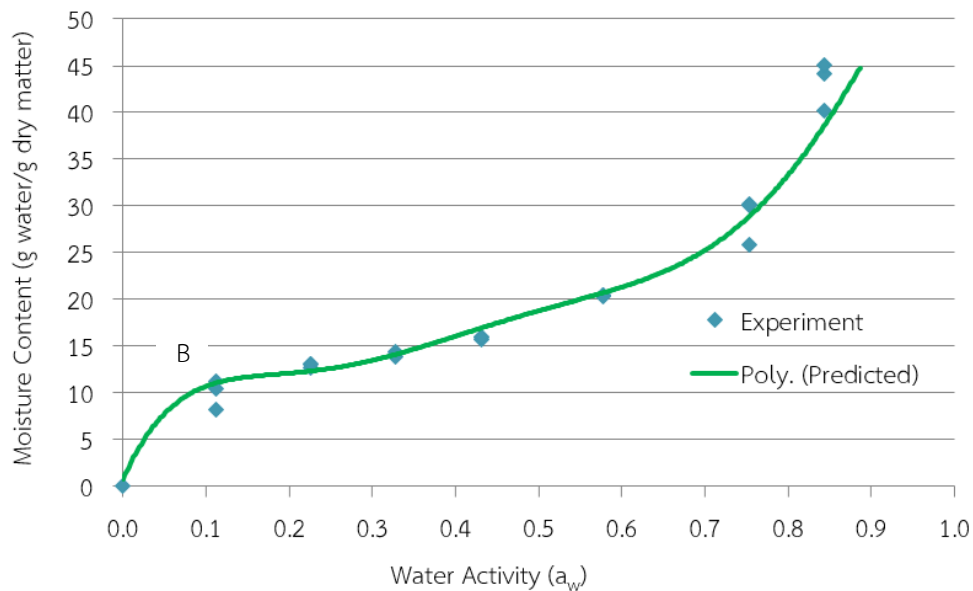
แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลอง Halsey เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด กล่าวคือมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุดเท่ากับ 0.9927 และมีค่า chi-square (χ^2) ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.0011 อีกทั้งยังมีรูปแบบสมการที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการนำไปใช้ โดยสามารถแสดงรูปแบบของความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดังสมการที่ (4.2) และแสดงการเปรียบเทียบค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ได้จากการทดลอง (experimental data) และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ได้จากการคำนวณ (predicted data) ดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 31

$$\text{แบบจำลอง Halsey} \quad a_w = \exp \left[\left(\frac{-A}{(R+T)} \right) \times M_e^{-B} \right] \quad (4.1)$$

$$a_w = \exp [-0.0257 \times M_e^{-1.9406}] \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.11 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ได้จากการทดลอง (experimental data) และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ได้จากการคำนวณ (predicted data)

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ที่ได้จากการทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ที่ได้จากการคำนวณ
0.0000	0.0000	0.0000
0.1115	8.2722	0.0390
0.1115	11.2131	0.1656
0.1115	10.5069	0.1300
0.2260	12.7458	0.2460
0.2260	13.0669	0.2628
0.2260	13.1230	0.2658
0.3273	14.3467	0.3280
0.3273	14.1253	0.3170
0.3273	13.9071	0.3061
0.4317	16.0235	0.4068
0.4317	15.7627	0.3951
0.4317	15.9879	0.4052
0.5770	20.4846	0.5721
0.5770	20.4998	0.5726
0.5770	20.3448	0.5679
0.7532	25.7918	0.6997
0.7532	30.2116	0.7690
0.7532	30.0286	0.7666
0.8432	40.1472	0.8596
0.8432	44.1616	0.8818
0.8432	45.0943	0.8863



รูปที่ 4.31 ซอร์พชันไอโซเทอมความชื้นของดอกกุหลาบหลังการทำแห้งแบบระเหิด

จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของดอกกุหลาบหลังการทำแห้งแบบระเหิดมีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (S-shape isotherm) ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดการดูดซับความชื้นต่อเนื่องจากการเรียงตัวโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (monolayer) อย่างสมบูรณ์ก่อนจึงเกิดเป็นหลายชั้น (multilayer) ในต่อมา โดยจุด B (break through) คือ บริเวณจุดเปลี่ยนโค้ง เป็นจุดที่แสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียวเสร็จสมบูรณ์ อาจกล่าวได้ว่าถ้าหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์ดอกไม้อหลังการทำแห้งสามารถเก็บได้ยาวนานจะต้องทำแห้งให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าจุด B ประมาณ 12.75 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง (สุดาทิพย์, 2556; วรวิทย์, 2558)

4.4 การทดลองที่ 4 การเพิ่มมูลค่าของไม้ประดับแห้ง

หลังจากการทำแห้งแบบระเหิด พบว่า ดอกกุหลาบที่ไม่ได้พ่นสีมีสีที่ใกล้เคียงกับดอกกุหลาบสดแต่เมื่อทำการเก็บไประยะเวลาหนึ่ง (ประมาณ 1 เดือน) ดอกกุหลาบที่ไม่พ่นสีจะมีลักษณะสีที่ซีดและเริ่มมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น



รูปที่ 4.32 ลักษณะของดอกกุหลาบที่ไม่ได้พ่นสีหลังจากการทำแห้งแบบระเหิด

ในส่วนของดอกกุหลาบที่พ่นสีก่อนนำไปทำพรีชตราย พบว่า ดอกกุหลาบที่พ่นด้วยสีทองจะเกิดการหลุดลอกออกจากผิวของกลีบดอกกุหลาบจึงไม่เหมาะที่นำมาจัดเป็นช่อ



รูปที่ 4.33 ลักษณะของดอกกุหลาบที่พ่นสีก่อนการทำแห้งแบบระเหิด และพ่นสีหลังการทำแห้งแบบระเหิด

ดอกกุหลาบที่ไม่ได้พ่นสีหลังจากทำพรีชตรายแล้วนำมาพ่นสี พบว่า ในกุหลาบที่มีสีอ่อนจะทำให้สีสเปรย์ที่พ่นออกมาไม่เพี้ยนแต่ถ้าเป็นดอกกุหลาบที่มีสีเข้มสีที่พ่นจะมีความเพี้ยนไปตามลักษณะสีพื้นของสีดอกกุหลาบ



รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบกุหลาบพ่นสีและไม่ได้พ่นสีหลังจากทำแห้งแบบระเหิด กุหลาบที่ไม่ได้พ่นสีหลังจากทำแห้งแบบระเหิด (ก) กุหลาบที่ทำการพ่นสีหลังทำแห้งแบบระเหิด (ข)

ได้ทดลองนำดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิดมาจัดเข้าช่อเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ประโยชน์ พบว่า ดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิดสามารถนำมาจัดได้ทั้งแจกันดอกไม้และช่อดอกไม้แบบมือถือ อีกทั้งได้มีการทดลองหาบรรจุภัณฑ์ที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิด อาทิเช่น กระปุกพลาสติก และนำไปจัดเป็นเซตดอกกุหลาบพรีชตรายในกล่องกระดาษ



รูปที่ 4.35 ดอกกุหลาบที่ทดลองนำมาจัดเป็นแจกันและช่อมือถือ



รูปที่ 4.36 ดอกกุหลาบที่ทดลองนำมาจัดเป็นบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบกระปุกพลาสติก

จากนั้นคณะผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อดอกกุหลาบแห้งแบบต่างๆ โดยใช้แบบสอบถามเป็นภาษาไทย จำนวน 100 ชุด ซึ่งแบบสอบถามประกอบด้วย คำถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคล และเป็นคำถามเกี่ยวกับดอกกุหลาบแห้ง

การนำแบบสอบถามไปใช้สอบถามบุคคลต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้

จากแบบสอบถามทั้งหมดที่แจก จะแบ่งชุดเป็นบุคคลทั่วไป เกษตรกร และนักธุรกิจผู้ค้าดอกไม้ เช่น พ่อค้าแม่ค้าในปากคลองตลาด และเจ้าของร้านจัดดอกไม้ ซึ่งผลการสำรวจในเชิงสถิติทั้งหมด จากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ แบ่งเป็น ผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นเพศหญิง 83 เปอร์เซ็นต์ เพศชาย 17

เปอร์เซ็นต์ อยู่ในช่วงอายุ ต่ำกว่า 21ปี 10 เปอร์เซ็นต์ อายุ 21-30ปี 52 เปอร์เซ็นต์ อายุ 41-50ปี 10 เปอร์เซ็นต์ อายุ 51-60ปี 10 เปอร์เซ็นต์ และ อายุ 61ปีขึ้นไป 18 เปอร์เซ็นต์ ประกอบอาชีพ รับราชการ 38 เปอร์เซ็นต์ พนักงานบริษัท 10 เปอร์เซ็นต์ นักเรียน นักศึกษา 32 เปอร์เซ็นต์ อาชีพเกี่ยวกับธุรกิจเกี่ยวกับดอกไม้ 15 เปอร์เซ็นต์ อื่นๆที่ไม่ระบุอาชีพ 5 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์ผลจากการตอบแบบสอบถามในส่วนของคุณลักษณะแห่ง

พบว่า มี 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ชอบกุหลาบแห่ง ซึ่งทั้งหมด 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ชอบคือเพศชาย เมื่อถามถึงเหตุผลบอกว่า ชอบกุหลาบสดมากกว่ากุหลาบแห้งหรือกุหลาบปลอม

ในส่วนของคุณลักษณะที่ชอบกุหลาบแห้ง ได้แก่ สวย มีกลิ่นหอมของกุหลาบที่ชัดเจนแตกต่างจากดอกไม้แห้งชนิดอื่น มีสีสันทึบสวยงาม และสามารถเก็บรักษาดอกกุหลาบไว้ได้นาน

ผู้ตอบแบบสอบถามเกือบทั้งหมดมีความพึงพอใจต่อสีโทนชมพูและสีม่วง ของดอกกุหลาบแห้ง มีเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ชอบสีดำ และ 1 เปอร์เซ็นต์ ชอบสีธรรมชาติ หากมีการจำหน่ายกุหลาบแห้งมี 13 เปอร์เซ็นต์ ที่จะไม่ซื้อ และ 87 เปอร์เซ็นต์ ที่ซื้อ โดยจะซื้อไปเป็นของขวัญในเทศกาลงานต่างๆ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นของแต่งงาน 20 เปอร์เซ็นต์ ในการตกแต่งโรงแรม และสอนจัดดอกไม้ อย่างละ 5 เปอร์เซ็นต์

จากแบบสอบถามว่า ถ้าหากจะซื้อดอกกุหลาบแห้งจะซื้อในราคา 20-30 บาท 32 เปอร์เซ็นต์ ราคา 31-40 บาท 42 เปอร์เซ็นต์ 41-50 บาท 19 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า 50 บาท 7 เปอร์เซ็นต์

ผลิตภัณฑ์ดอกกุหลาบแห้งที่ทำการจัดซื้อ และจัดแจกกันให้ผู้ตอบแบบสอบถามใช้ในการพิจารณาตอบแบบสอบถาม





และได้เชิญนักจัดดอกไม้ อาจารย์สอนจัดดอกไม้ และเจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่จัดดอกไม้ของโครงการบุหงา มาทำการออกแบบและจัดดอกไม้เพิ่มเติมเพื่อเป็นตัวอย่างของการนำดอกกุหลาบแห้งไปใช้งาน











၅



นอกจากนี้ได้ทำการคำนวณต้นทุนในการผลิตดอกกุหลาบแห้ง ทั้งต้นทุนในการทำแห้ง ต้นทุนดอกกุหลาบ รวมไปจนถึงอุปกรณ์และค่าแรง ดังนี้

1. กุหลาบสดที่รับมาจากโครงการหลวง ดอกละ 3-10 บาท
2. กุหลาบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด ครั้งละ 800-1,000 ดอก โดยค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำ 10,000 บาท ต่อครั้ง
3. ดอกไม้แห้งชนิดต่างๆสำหรับใช้แซมในการจัดช่อ 80-100 บาท
4. อุปกรณ์ในการจัดช่อ เช่น แจกัน โถแก้ว ประมาณ 50-500 บาท
5. ค่าแรงในการจัดช่อ 100 บาท/ช่อ/แจกัน

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้คำนวณราคาพร้อมจำหน่าย



กุหลาบ 3 ดอก ดอกละ 20 บาท = 60 บาท

ตุ้มทอง = 40 บาท

ใบแบ่งเชยเงิน 10 กรัม = 8 บาท

จิบโซ 5 กรัม = 9 บาท

ใบลัสคัส 3 ก้าน = 21 บาท

ค่าแรง 80 บาท

ค่าแก้วใช้จัดแจกัน = 30 บาท

รวมต้นทุน 248 บาท $\times$ กำไร 2.5 เท่า = 620 บาท



กุหลาบ 24 ดอก ดอกละ 20 บาท = 480 บาท

กุหลาบหนู 10 ดอก ดอกละ 10 บาท = 100 บาท

หญ้าหางกระต่าย 30 กรัม = 54 บาท

จิบโซ 5 กรัม = 9 บาท

ใบลัสคัส 7 ก้าน = 140 บาท

ค่าแรง 200 บาท

แจกัน = 300 บาท

รวมต้นทุน 1,319 บาท $\times$ กำไร 2.5 เท่า = 3,297 บาท

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตดอกกุหลาบแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด สำหรับการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการแปรรูปโดยการทำแห้งแบบระเหิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยในการศึกษาเบื้องต้นสามารถจำแนกสีของดอกกุหลาบได้ 11 สี และการแต่งสีที่เลือกใช้เป็นการพ่นสีด้วยสีสเปรย์ ยี่ห้อ design master พ่นดอกกุหลาบสด ทำให้ดอกกุหลาบแห้งคงสภาพใกล้เคียงกับดอกสดมากที่สุด ในส่วนของการทำแห้งแบบระเหิดเลือกใช้ภาชนะทำแห้งด้วยถาดรังไข่พลาสติก และทดสอบการทำแห้งเบื้องต้นที่อุณหภูมิทำแห้งระยะ 2 30 องศาเซลเซียส พบว่า การห่ออลูมิเนียมฟอยล์ที่ถาดรังไข่พลาสติกไม่มีผลต่อระยะเวลาการทำแห้งแบบระเหิด ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้หลังการทำแห้งอยู่ในช่วง 12.25 ถึง 15.19 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นฐานเปียกลดลงในช่วง 7.71 ถึง 15.5 ยกเว้นดอกกุหลาบสายพันธุ์ Grand Gala ที่มีลักษณะขนาดดอกที่ใหญ่และกลีบดอกตูมแน่นหลายชั้นข้างในของดอกกุหลาบยังคงไม่แห้ง

ดังนั้นทางทีมวิจัยจึงได้ศึกษาอุณหภูมิสำหรับการทำแห้งแบบระเหิดดอกกุหลาบเพิ่มเติมเพื่อหาอุณหภูมิการทำแห้งระยะ 2 ที่เหมาะสม และทำให้ดอกกุหลาบหลังการทำแห้งมีคุณภาพและอายุการเก็บรักษาสูงสุด จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งระยะที่ 2 จะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการทำแห้งแบบระเหิดเพิ่มขึ้น และทำให้คุณภาพทางกายภาพบางส่วนเปลี่ยนแปลงไป โดยเปอร์เซ็นต์ผลได้ของตัวอย่างดอกกุหลาบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูงกว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกหลังการทำแห้งของดอกกุหลาบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 18.90 เปอร์เซ็นต์ และ 0.563 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างดอกกุหลาบหลังการทำแห้ง 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียกและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 8.53 เปอร์เซ็นต์ และ 0.466 ตามลำดับ ค่าความชื้นและวอเตอร์แอคทิวิตีดังกล่าวมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บในรูปแบบของแห้งควรจะมีวอเตอร์แอคทิวิตีน้อยกว่า 0.6 ส่วนในด้านแตกต่างของสี พบว่า ทุกสภาวะการทำแห้งระยะ 2 ไม่มีผลต่อค่าสีของตัวอย่าง กล่าวคือ ตัวอย่างมีค่าสีใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$ และเมื่อนำมาวิเคราะห์ฮอว์ฟมันไอโซเทอมความชื้นของดอกกุหลาบ พบว่าแบบจำลอง Halsey เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด กล่าวคือมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด และมีค่า chi-square (χ^2) ต่ำที่สุด อีกทั้งยังมีรูปแบบสมการที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการนำไปใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นสมดุลของดอกกุหลาบหลังการทำแห้งกับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสิ่งแวดล้อมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การประเมินการตลาดของดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิด โดยคณะผู้วิจัยได้จัดทำแบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อดอกกุหลาบที่ทำแห้งแบบระเหิด ซึ่งใช้แบบสอบถามเป็นภาษาไทยจำนวน 100 ชุด ซึ่งแบบสอบถามประกอบด้วย คำถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคล และเป็นคำถามเกี่ยวกับดอกกุหลาบแห้ง จากการวิเคราะห์ผลการตอบแบบสอบถามในส่วนของดอกกุหลาบแห้ง พบว่า มี 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ชอบกุหลาบแห้ง ซึ่งทั้งหมด 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ชอบ คือ เพศชาย และในส่วนของสาเหตุผู้ที่ไม่ชอบกุหลาบแห้ง

ได้แก่ สวย มีกลิ่นหอมของกุหลาบที่ชัดเจนแตกต่างจากดอกไม้แห่งชนิดอื่น มีสีสันทึบสวยงาม และสามารถเก็บรักษาดอกกุหลาบไว้ได้นาน ผู้ตอบแบบสอบถามเกือบทั้งหมดมีความพึงพอใจต่อสีโทนชมพูและสีม่วงของดอกกุหลาบแห้ง มีเพียง 10 เปอร์เซนต์ ที่ชอบสีดำ และ 1 เปอร์เซนต์ ชอบสีธรรมชาติ หากมีการจำหน่ายกุหลาบแห้งมี 13 เปอร์เซนต์ ที่จะไม่ซื้อ และ 87 เปอร์เซนต์ ที่ซื้อ โดยจะซื้อไปเป็นของขวัญในเทศกาลงานต่างๆ 70 เปอร์เซนต์ เป็นของแต่งงาน 20 เปอร์เซนต์ ในการตกแต่งโรงแรม และสอนจัดดอกไม้ อย่างละ 5 เปอร์เซนต์ จากแบบสอบถามว่าถ้าหากจะซื้อดอกกุหลาบแห้งจะซื้อในราคา 20-30 บาท 32 เปอร์เซนต์ ราคา 31-40 บาท 42 เปอร์เซนต์ 41-50 บาท 19 เปอร์เซนต์ และมากกว่า 50 บาท 7 เปอร์เซนต์

ข้อเสนอแนะเพื่อศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรจะศึกษาด้านแบบการผลิตดอกกุหลาบอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่สามารถผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรมได้ ซึ่งควรเลือกสายพันธุ์ดอกกุหลาบ ขนาดกลีบ ความหนาของกลีบให้เหมาะสม ไม่บางจนเกินไป และไม่หนาเกินไป จากงานวิจัยครั้งนี้ พบว่าถ้าดอกกุหลาบมีกลีบดอกที่บางจนเกินไปจะส่งผลให้กลีบดอกมีโอกาสชำได้ง่าย และหลังการทำแห้งกลีบดอกจะพอง แต่หากมีลักษณะขนาดดอกที่ใหญ่และกลีบดอกตูมแน่นหลายชั้น จะทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าดอกกุหลาบสายพันธุ์อื่น หรือชั้นในของดอกกุหลาบไม่แห้ง สำหรับบรรจุภัณฑ์ของดอกกุหลาบฟรีสตราควรเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทโดยไม่มีอากาศและความชื้นเข้าจะทำให้ดอกกุหลาบฟรีสตราอายุการเก็บรักษาที่นานยิ่งขึ้นและควรศึกษาแนวทางของการจัดดอกกุหลาบในปัจจุบันเพื่อให้ตรงกับกลุ่มเป้าหมาย

5.2 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

รายการ	ปีที่ 1											
	เดือน1	เดือน2	เดือน3	เดือน4	เดือน5	เดือน6	เดือน7	เดือน8	เดือน9	เดือน10	เดือน11	เดือน12
การเตรียมดอกไม้ ก่อนทำแห้ง	←			→								
กระบวนการทำแห้ง ด้วยเครื่องทำแห้ง แบบระเหิด				←			→					
การทดสอบคุณภาพ ของดอกไม้แห้ง							←		→			
การเพิ่มมูลค่าของไม้ ประดับแห้ง										←		→

5.3 ผลผลิต (output) และตัวชี้วัด

ผลผลิต	ตัวชี้วัด			
	เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	เวลา	ต้นทุน
ได้ดอกกุหลาบแห้งที่เกิดจากกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด	ได้ผลิตภัณฑ์จากดอกกุหลาบ freeze dry ซึ่งนำไปใช้งานได้หลากหลาย	ได้ผลิตภัณฑ์ดอกไม้แห้งชนิดใหม่ คือ กุหลาบชนิดใหม่ ที่เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์โครงการบูรณา	1 ปี	มีช่องทางจำหน่าย

เอกสารอ้างอิง

- Chokri Hammami and Frederic Rene. 1997. Determination of freeze-drying process variable for strawberries. *Journal of food engineering* 32(1997): 133-154
- Judith A. Evans. 2008. *Frozen Food Science and technologic*. United Kingdom. Blackwell Publishing
- Lue-lue Huang, Min Zhang, Arun S. Mujumdar, Rui-xin Lim. 2010. Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips. *Journal of Food Engineering* 103 (2011): 279–284
- Tein M. Lin, Timothy D. Durance, Christine H. Scaman. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International* 31(2) (1998):111-117
- Yanin, S. 2003. Energy requirement and quality of flower dried in microwave and heat air. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 163 pp.
- จารุพันธ์ ทองแถม, ม.ล. 2540. รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ประดับแห้งเพื่ออุตสาหกรรมการส่งออกของประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ชลลดา. 2549. อิทธิพลของอายุต้นและระยะเวลาการให้วันยาวที่เหมาะสมต่อการออกดอกของหญ้าหางกระด้าย (*Lagurusovatus L.*) เพื่อผลิตเป็นดอกไม้แห้ง. กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ชาลีตา บรมพิชัยชาติกุล. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 35:269-283
- เต็ม สมิตินันท์. 2560. “กุหลาบ.” ข้อมูลพรรณไม้ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.rspg.or.th/plants_data/pdata_04.htm
- นันทน์ช. 2542. การเปรียบเทียบพันธุ์ อคิลเลียเพื่อผลิตเป็นไม้ตัดดอกแห้ง. กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ปิ่นธร ภัทรสถาพรกุล. 2547. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 1). วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย 11: 20-22
- ปิ่นธร ภัทรสถาพรกุล. 2548. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 2). วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย 14: 11-13
- ปิ่นธร ภัทรสถาพรกุล. 2548. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 3). วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย 15: 7-9

- พรรณทิพา เจริญไทยกิจ. 2546. การใช้ประโยชน์สารสกัดจากหัวกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เพื่อใช้เป็นวัตถุกันหืนธรรมชาติในผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลือง และมายองเนส. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วรวิทย์ จันทรสุวรรณ. 2558. ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบสเป็นตัวดูดซับ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น. 2556. ซอร์พชันไอโซเทอมของความชื้นของชาสมุนไพรปัญจชันธุ์ (*Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino). แก่นเกษตร 41. 1 : 585-591.

การพัฒนากระบวนการแปรรูปดอกกุหลาบเชิงพาณิชย์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางเปรียบเทียบผลผลิต (Output) ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ดำเนินการได้จริงในรอบ 12 เดือน

ผลผลิต (Output)		ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ท่านระบุสาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. การเตรียมดอกไม้ก่อนทำแห้ง	100%	-
2. กระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด	100%	-
3. การทดสอบคุณภาพของดอกไม้แห้ง	100%	-
4. การเพิ่มมูลค่าของไม้ประดับแห้ง	100%	-

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

-

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

31 สิงหาคม 2561