-

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการผลิตต้นแบบชาสมุนไพรคุณภาพสูง ในระดับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

Development of prototype processes for premium quality herbal teas for SME

นาง พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

นาย สาทิป รัตนภาสกร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการผลิตต้นแบบชาสมุนไพรคุณภาพสูง ในระดับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

Development of prototype processes for premium quality herbal teas for SME

นาง พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

นาย สาทิป รัตนภาสกร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) **การพัฒนากระบวนการผลิตต้นแบบชาสมุนไพรคุณภาพสูง ในระดับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม**

แหล่งเงิน เงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555 คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 72,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ถึง กันยายน 2555

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
1. นาง พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร (หัวหน้าโครงการ)
2. นาย สาทิป รัตนภาสกร สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร (ผู้ร่วมโครงการ)

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแปรรูปชาสมุนไพร วิธีการล้างที่แนะนำในการล้างตะไคร้ และใบเตย คือ การแช่น้ำเป็นเวลา 30 วินาที ตามด้วยการแช่สารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 150 ppm สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและโคลิฟอร์มทั้งหมดได้มากกว่า 2 $\log_{10}$CFU/ml ในขณะที่ดอกอัญชันใช้ความเข้มข้นเพียง 50 ppm

การทำแห้งตะไคร้ ใบเตย และดอกอัญชันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถอธิบายอัตราส่วนความชื้นและเวลาในการทำแห้งตะไคร้และใบเตยได้ด้วยแบบจำลองของเพจ (Page model) ในขณะที่ดอกอัญชันสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของลอกการิทึมิก (Logarithmicmodel)

การทำแห้งตะไคร้และใบเตยแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชาสมุนไพร ขั้นตอนแรกอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ของสมุนไพรเท่ากับ 0.7 ตามด้วยการทำแห้งโดยการดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาเจล จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของสมุนไพรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และแบบ 2 ขั้นตอน สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของแกบ (GAB model) และนำมาใช้ในการทำนายอายุการเก็บของชาสมุนไพรที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ

คำสำคัญ :

Research Title: Development of prototype processes for premium quality herbal teas for SME

Researcher: Pimpen Pornchaloempong and Sathip Rattanapasagorn

Faculty: Engineering **Department:** Food Engineering

ABSTRACT

The optimum conditions for processing of herbal teas were investigated. Cleaning Turmeric and Pandanus by immersing the herbs in water for 30 seconds followed by immersing in 150 ppm of Calcium Hypochlorite is recommended since it could reduce numbers of Aerobic Plate Count and Total Coliformof Turmeric and Pandanusby more than 2 $\log_{10}$CFU/ml while only50 ppm of Calcium is recommended for Butterfly Pea.

The hot air drying of Lemon grass,Pandanusand Butterfly Pea at drying temperatures of 40, 50 and 60^{o}C were carried out using the laboratory tray drier. Moisture ratio and time during drying of Lemon grass and Pandanus leave were best described by the Page modelwhile Butterfly Pea was best described by the Logarithmic model.

The two stages drying of lemongrass and Pandanus were investigated for improving quality of the tea. The first state drying was conducted using hot air drying at 60^{o}C until water activity of the herbs were 0.7 followed by drying by Silica gel as adsorption media until constant weight was reached.

The water adsorption isotherms of the herbs dried at 60°C and dried by the two stages drying were best described by the GAB model and used to predict the products' shelf life.

Keywords :

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย (ผศ. ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และรศ. สาทิป รัตนภาสกร) และคณะผู้ช่วยวิจัย(นางสาวดวงดาว โหมดวัฒนะ นางสาวดวงมณี อัครสินวิโรจน์ นายเทพกร ยอดทอง และนางสาววราภรณ์ เหลืองละมัย) ขอขอบคุณที่การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

นาง พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ (หัวหน้าโครงการ)
นาย สาทิป รัตนภาสกร (ผู้ร่วมโครงการ)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลทั่วไปของสมุนไพร	2
2.2 การทำแห้ง	6
2.3 ไอโซเทอมและการประเมินอายุการเก็บรักษา	11
บทที่ 3 การล้างและการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป	
3.1 วิธีการทดลอง	19
3.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	20
3.3 สรุปผลการทดลอง	24
บทที่ 4 การทำแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด	
4.1 วิธีการทดลอง	26
4.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	27
4.3 สรุปผลการทดลอง	31
บทที่ 5 ผลของการทำแห้งต่อไอโซเทอมการดูดความชื้นของชาสมุนไพร	
5.1 วิธีการทดลอง	33
5.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	34
5.3 สรุปผลการทดลอง	36
บทที่ 6 การทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดซับความชื้น	
6.1 วิธีการทดลอง	37
6.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	38

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.3 สรุปผลการทดลอง	41
บทที่ 7 การประเมินอายุการเก็บรักษา	
7.1 วิธีการทดลอง	42
7.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	43
7.3 สรุปผลการทดลอง	43
บทที่ 8 สรุปผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	46
ประวัตินักวิจัย	54

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมการสำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น	10
2.2 วิธีการหาค่าไอโซเทอมการดูดความชื้นและคายความชื้น	12
2.3 สมการสำหรับอธิบายไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้น	14
4.1 ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนอัตราส่วนความชื้นของตะไคร้	30
4.2 ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนอัตราส่วนความชื้นของใบเตย	30
4.3 ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนอัตราส่วนความชื้นของดอกอัญชัน	31
5.1 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตะไคร้	34
5.2 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของใบเตย	35
6.1 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตะไคร้	39
6.2 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของใบเตย	40
7.1 อายุการเก็บของตะไคร้อบแห้งในบรรจุภัณฑ์ จากการทำนายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และค่าที่ใช้สมการ	43
7.2 อายุการเก็บของใบเตยอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ จากการทำนายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และค่าที่ใช้ในสมการ	43

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ต้นขมิ้นชัน	2
2.2 เหง้าขมิ้นชัน	2
2.3 กอตะไคร้	3
2.4 ลำต้นตะไคร้	3
2.5 ต้นใบเตย	5
2.6 ใบเตย	5
2.7 ต้นอัญชัน	6
2.8 ดอกอัญชัน	6
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้งกับเวลา	8
2.10 ไอโซเทอมการดูดซับและการคายความชื้น	13
3.1 การเตรียมสมุนไพรก่อนล้าง	19
3.2 ขั้นตอนการทดลองล้างสมุนไพร	20
3.3 ผลของการล้างและความเข้มข้นของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวัตถุดิบสมุนไพร	23
3.4 ผลของการล้างและความเข้มข้นของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ต่อปริมาณโคลิฟอร์มในวัตถุดิบสมุนไพร	23
4.2 ก เครื่องอบลมร้อนแบบถาด ข ทิศทางการไหลของลม	26
4.3 กราฟความชื้นกับเวลาของสมุนไพร ก ตะไคร้ ข ใบเตย และ ค ดอกอัญชัน	28
4.4 กราฟอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของตะไคร้	28
4.5 กราฟอัตราการทำแห้งกับความชื้นของตะไคร้	28
4.6 กราฟอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของใบเตย	29
4.7 กราฟอัตราการทำแห้งกับความชื้นของใบเตย	29
4.8 กราฟอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของดอกอัญชัน	29
4.9 กราฟอัตราการทำแห้งกับความชื้นของดอกอัญชัน	29
5.1 สารละลายเกลืออิ่มตัว	33
5.2 ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของตะไคร้อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ	35
5.3 ไอโซเทอมการดูดความซับความชื้นของใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ	36
6.1 กราฟความชื้นกับเวลาของตะไคร้และใบเตย	38
6.2 กราฟความชื้นกับเวลาจากการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้นของตะไคร้	38
6.3 กราฟความชื้นกับเวลาจากการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้นของใบเตย	39

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

6.4 ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของตะไคร้อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดซับความชื้น 40

6.5 ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดซับความชื้น 40

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ชาสมุนไพร (herbal tea) เป็นเครื่องดื่มที่มีความสำคัญและดื่มกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก ได้จากการนำสมุนไพร (herb) ที่มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ มาผ่านกระบวนการแปรรูป ด้วยการทำแห้ง (dehydration) แล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่พร้อมใช้ ผู้บริโภคใช้ผลิตภัณฑ์ ด้วยการคืนตัวชาสมุนไพรด้วยการแช่ในน้ำร้อนแล้วดื่มขณะร้อนหรือเย็น สรรพคุณหลักของชาสมุนไพร ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย (essential oil) คือ ทำให้รู้สึกสดชื่น ผ่อนคลาย แก้กระหาย นอกจากนั้นสมุนไพรหลายชนิดมีสรรพคุณทางยา เช่น ช่วยกระตุ้นระบบประสาท ระบบหมุนเวียนเลือด ต้านอนุมูลอิสระ ลดคลอเรสเตอรอล และยังมีสรรพคุณรักษาโรค เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคมะเร็ง เป็นต้น เป็นแนวทางการแพทย์ทางเลือก ที่ไม่ต้องใช้สารเคมีในการบำบัด

ปัจจุบันในระดับอุตสาหกรรม ได้เริ่มมีการนำสมุนไพรชนิดต่าง ๆ มาผลิตเป็นชาสมุนไพร ดึงสรรพคุณเด่นทางยา ปรับสี และรสชาติให้เพื่อให้เกิดความสะดวกเหมาะแก่การบริโภคมากขึ้น เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลทางการเกษตร ธุรกิจการผลิตชาสมุนไพรกึ่งสำเร็จรูป มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว แต่ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตยังขาดมาตรฐาน และกรรมวิธีการผลิตที่ชัดเจน รวมไปถึงการตรวจสอบระดับคุณภาพของชาสมุนไพร

จึงได้มีการจัดตั้งโครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตชาสมุนไพร นี้ขึ้นมาเพื่อการพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้มาตรฐาน การทำวิจัยและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และการตรวจสอบในระดับคุณภาพของชาสมุนไพร รวมไปถึงการพัฒนาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของกระบวนการเพื่อตอบสนองคุณภาพในการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาผลของการล้างวัตถุดิบสมุนไพรต่อการลดปริมาณจุลินทรีย์
2. เพื่อศึกษาอัตราการทำแห้งชาสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด
3. เพื่อศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้นของชาสมุนไพร
4. เพื่อศึกษาการทำแห้งชาสมุนไพร ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น
5. เพื่อประเมินอายุการเก็บของชาสมุนไพร

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กระบวนการผลิตชาสมุนไพรกึ่งสำเร็จรูปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ตั้งแต่การล้าง การทำแห้ง และการเก็บรักษา เพื่อให้ได้ชาสมุนไพรที่มีคุณภาพ

บทที่ 2

ตรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของสมุนไพร

2.1.1 ขมิ้นชัน

ลักษณะทั่วไป

ขมิ้น (Turmeric) หรือ ขมิ้นชัน ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Curcuma longa L.* เป็นพืชวงศ์ขิง ที่ใช้เพื่อเป็นทั้งเครื่องเทศ และพืชสมุนไพร ที่คนไทยรู้จักกันมาแต่โบราณ จัดเป็นพืชล้มลุกที่อยู่ในวงศ์ขิงข่า มีอายุหลายปี ลำต้นเหนือดินเป็นลำต้นที่เกิดจากการอัดตัวกันของกาบใบ ลำต้นจริงอยู่ใต้ดินเรียกเหง้าขมิ้น ประกอบด้วยเหง้าหลักใต้ดินที่เราเรียกกว่าหัวแม่ ซึ่งมีรูปไข่และแตกแขนงทรงประกอบออกด้านข้างทั้ง 2 ด้าน เรียกว่าแง่ง เนื้อในเหง้ามีสีเหลือง มีกลิ่นเฉพาะ ส่วนที่ใช้บริโภคคือลำต้นใต้ดินที่ใช้สะสมอาหาร ขมิ้นมีสารที่เป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีคือ Curcumin มีสีเหลือง ส้ม (orange-yellow)

รูปที่ 2.1 ต้นขมิ้นชัน

รูปที่ 2.2 เหง้าขมิ้นชัน

ใช้รับประทานสด เป็นส่วนผสมของเครื่องแกง (curry) โดยนำมาใช้แต่งสี แต่งกลิ่น และรสของอาหาร เช่น แกงเหลือง แกงไตปลา อาจนำมาแปรรูปด้วยการทำแห้ง (dehydration) แล้วบดเป็นผง ใช้เป็นเครื่องเทศ (spice) และใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เพื่อเป็นสารให้สี (coloring agent) และวัตถุปรุงแต่งรสอาหาร (flavoring agent) ที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งให้ความปลอดภัยมากกว่าสีสังเคราะห์ เป็นวัตถุดิบเพื่อการสกัด (extraction) เป็น curcumin, oleoresin

สารสำคัญและโภชนเภสัช

รากและเหง้ามีน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ได้แก่ ทูมีโรน (tumerone), zingerene bissboline, zingiberence, (+) – sabinene, alpha-phellandrene, curcumone, สารประกอบ เคอร์คูมิน (curcumin) ที่มี

คุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ใช้เป็นยาภายใน คือแก้ท้องอืด บรรเทาอาการปวดท้อง ท้องอืด แน่นจุดเสียดโดยกระตุ้นการหลั่ง mucin มาเคลือบกระเพาะ และยับยั้งการหลั่งน้ำย่อยชนิดต่างๆ มีฤทธิ์ในการลดการอักเสบโดยสาร curcumin ที่มีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (Cousin et.al., 2007) ขมิ้นขันจะไปออกฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ในการลดการบีบตัวของลำไส้ ฤทธิ์ในการคลายกล้ามเนื้อเรียบ โดยออกฤทธิ์ต้าน acetylcholine, barium chloride และ serotonin ซึ่งช่วยบรรเทาอาการปวดเกร็งในผู้ป่วยโรคกระเพาะ ส่วนที่เป็นยาภายนอกได้แก่ ทาแก้ผื่นคัน โรคผิวหนังพุพอง ยารักษาชันนะตุและหนังศรีษะเป็นเม็ดผื่นคัน เหง้าของขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย สามารถยับยั้งสาเหตุการเกิดกรดเนื่องจาก *Lactobacillus cidophilus* และ *L. planturum* มีฤทธิ์ในการขับน้ำดี โดยสาร curcumin และ p-tolymethycarbinol สามารถขับน้ำดีและกระตุ้นการสร้างน้ำดี นอกจากนี้ยังสามารถ ออกฤทธิ์แก้ปวดกระดูก ป้องกันกระดูกผุ แก้ตาลาย อาการหน้ามืด ป้องกันโรค เบาหวาน ลดคอเลสเตอรอล และมีฤทธิ์เป็นยานอนหลับ (Gilani A.H. et.al., 2004)

2.1.2 ตะไคร้

ลักษณะทั่วไป

ตะไคร้ เป็นพืชสมุนไพร และเป็นเครื่องเทศ มีชื่อสามัญคือ Lemon Grass, Lapine, Sweet Rush, Ginger Grass, Takhrai มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Cymbopogon citrates (DC.) Stapf* เป็นพืชล้มลุกจำพวกหญ้า อยู่ในวงศ์ GRAMINEAE อายุหลายปี สูงประมาณ 1 เมตร ลำต้นตั้งตรงมีข้อ และปล้องสั้นค่อนข้างแข็ง มีใบเรียงซ้อนสลับกันแน่นมาก กาบใบสีขาวนวลหรือม่วงอ่อนแผ่เป็นกาบ เป็นแผ่นยาวโอบซ้อนกันจนดูแข็ง ใบเป็นเดี่ยว รูปเรียวยาว ปลายใบเรียวแหลม กว้าง 1-2 เซนติเมตร ยาว 70-120 เซนติเมตร ผิวใบสากมือทั้งสองด้าน ขอบใบมีขนอยู่เล็กน้อย ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ ชื่อเรียกในท้องถิ่น เช่น ตะไคร้แกง (กลาง) คาหอม (ฉาน-แม่ฮ่องสอน) ไคร (ใต้) จะไคร (เหนือ) เชิดเกรย เหลอะเกรย (สุรินทร์) ห่อวอตะโป่ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) หัวสิงไค (ปราจีนบุรี)

รูปที่ 2.3 กอตะไคร้

รูปที่ 2.4 ลำต้นตะไคร้

ส่วนที่ใช้เป็นอาหาร คือลำต้นเหนือดิน ประมาณ 2-4 นิ้ว มีกลิ่นหอม ตะไคร้สดเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหารไทยหลายชนิด เช่น ต้มยำ ยำ พล่า น้ำพริกแกง เช่น น้ำพริกแกงเขียวหวาน และสามารถนำมาแปรรูปโดยการทำแห้ง ได้จากการนำตะไคร้สดมาลดขนาด (size reduction) ด้วยกันหั่น หรือซอย และนำมาทำแห้ง ด้วยการตากแห้ง (sun drying) หรืออบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้ง (drier) ตะไคร้แห้งใช้ เพื่อชงดื่มเป็นชาสมุนไพร หรือใช้แต่งกลิ่นอาหาร หรือนำมาสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหย

สารสำคัญและโภชนเภสัช

ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย มีชื่อว่า lemon grass oil หรือ verbena oil หรือ Indian molissaoil หลายชนิด เช่น citral ประมาณ 80% และยูจีนอล (eugenol) ช่วยในการขับลม ขับเหงื่อ ทำให้กล้ามเนื้อคลายตัว แก้อาเจียน แก้อาการปวดกระดูก แก้ตาลาย หน้ามืด ป้องกันโรคไต โรคนิ่ว อาการท้องอืด เบาหวาน ลดคอเรสเตอรอล ลดความดัน (Nikos et.al., 2007) มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ได้แก่ *E.coli* (Michiko, 2010) สารเคมีในน้ำมันหอมระเหย ช่วยขับลม ลดอาการจุกเสียด และมี menthol, camphor และ linalool ช่วยขับลม นอกจากนี้ตะไคร้ยังมีสารช่วยในการขับน้ำดีมาช่วยย่อยคือ borneol, fenchone และ cineole

2.1.3 ใบเตย

ลักษณะทั่วไป

ใบเตยมี**ชื่อสามัญ**คือ Pandanus มี**ชื่อวิทยาศาสตร์**คือ *Pandanus amaryllifolius Roxb Linn.Palm , Fragrant Pandan , Pandom wangi* อยู่ใน**วงศ์** PANDANACEAE ใบเตยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวลักษณะแตกกอเป็นพุ่มขนาดเล็ก ลำต้นเป็นข้อ ใบออกเป็นพุ่มบริเวณปลายยอด เมื่อโตจะมีรากค้ำจุนช่วยพยุงลำต้นไว้ ใบเป็นใบเดี่ยวออกเป็นกระจุกเรียงสลับเวียนเป็นเกลียวขึ้นไปจนถึงยอด ลักษณะใบยาวเรียวคล้ายใบหอก ปลายใบแหลม บริเวณกลางใบเป็นร่อง ขอบใบเรียบตรง ผิวใบเป็นมัน ด้านท้องใบจะเห็นเป็นรูปคล้ายกระดูกงูเรือใบ มีกลิ่นหอม

รูปที่ 2.5 ต้นใบเตย

รูปที่ 2.6 ใบเตย

สาระสำคัญและโภชนเภสัช

ใบเตยให้รสหวาน เย็นหอม ช่วยลดการกระหายน้ำ เมื่อดื่มน้ำใบเตยจะรู้สึกชื่นใจและชุ่มคอรักษาโรคหืด บำรุงหัวใจ ลดน้ำตาลในเส้นเลือด และรักษาระดับความดันให้เป็นปกติ (Peungvicha et.al.,1998) ส่วนรากใช้เป็นยาบขับปัสสาวะ และรักษาโรคเบาหวาน ใบเตยประกอบไปด้วยน้ำมันหอมระเหยและมีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งในน้ำมันหอมระเหยประกอบไปด้วยสารหลายชนิด เช่น เบนซิลอะซีเตท (benzyl acetate) และ อัลคาลอยด์ (Alkaloid) (Fatihanim et.al.,2008) ไลนาลิลอะซีเตท (linalyl acetate ไลนาโลออท (iinalool) และเจอรานิออล (geraniol) และสารที่ทำให้มีกลิ่นหอมคือคูมาริน (coumarin) และเอทิลวานิลลิน (ethyl vanillin)

2.1.4 อัญชัน

ลักษณะทั่วไป

อัญชัน เป็นดอกไม้ที่ใช้เป็นสมุนไพร อาจเรียกว่า แดงชัน (เชียงใหม่) หรือ เอื้องชัน (เหนือ) ชื่อสามัญคือ Blue Pea,Butterfly Pea หรือ Asian pigeonwingsz **มี**ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Clitoria ternatea* เป็นพืชตระกูลถั่ว (fabaceae) ใน**วงศ์** leguminosae เป็นพืชล้มลุก ขึ้นได้ดีในเขตร้อน ลักษณะต้นเป็นไม้เถาเลื้อยขนาดเล็ก ใบเป็นใบประกอบ ดอกอัญชัน เป็นดอกเดี่ยว มีสีน้ำเงินเข้ม หรือน้ำเงินอมม่วง และสีขาว ดอกชั้นในแบ่งเป็น 5 กลีบ กลีบนอกมีสีเขียว มีผลเป็นฝัก ลักษณะแบนคล้ายฝักถั่ว ขนาดยาวประมาณ 5-10 ซม. ซึ่งมีเมล็ดภายใน 2-3 เมล็ด

รูปที่ 2.7 ต้นอัญชัน

รูปที่ 2.8 ดอกอัญชัน

ดอกอัญชัน มักใช้เป็นสีผสมอาหาร (coloring agent) สารแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน เป็นสีที่ละลายน้ำได้ แต่ไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นกรด ปกติให้สีคราม แต่ ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนจะให้สีม่วงแดง ใช้แต่งสีในขนมไทยหลายชนิด ได้แก่ ขนมชั้น ขนมเรไร ขนมน้ำดอกไม้ ขนมขี้หนู วุ้นกะทิ ขนมถั่วแปบ ซ่าหริ่ม ขนมกุยช่าย

สาระสำคัญและโภชนเภสัช

สารสำคัญ คือ genistein เช่น antiinflammatory, antioxidant และ antispasmodic และมีสาระสำคัญอื่น เช่น gernatins preternatins สีจากดอกอัญชันอยู่ในกลุ่ม แอนโทไซอานิน (anthocyanin) ประกอบด้วยส่วนของ aglycone เรียกว่า delphinidin และส่วนของน้ำตาลที่เป็นน้ำตาล D-glucose มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) จากธรรมชาติ ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของตา เพิ่มความสามารถในการมองเห็น (Kazumaet.al., 2004) แก้อาการตาฟาง ตามัว ตาเสื่อมจากโรคเบาหวาน โรคต้อหิน โรคต้อกระจก เป็นต้น ดอกอัญชันนั้นยังช่วยยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด (Pulok .et.al., 2003) และช่วยขับปัสสาวะ และยังช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อ มีสารกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoid) คือ แอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของไขมัน ชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด และโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว

2.2 การทำแห้ง

การทำแห้ง (dehydration) วัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการอบแห้งจะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นประมาณ 2-14 % ทำให้วอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity) ในอาหารลดลงไปด้วย เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ (enzyme) หรือชะลอปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage) การทำแห้งจึงทำให้อาหารมีความปลอดภัย เนื่องจากการลดปริมาณน้ำในอาหาร โดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) ไม่สามารถเจริญเติบโตได้

รวมทั้งยังสามารถยับยั้งสารพิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น Aflatoxin นอกจากนี้การทำแห้งยังเป็นการทำเพื่อให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น อีกทั้งยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ซึ่งคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงพื้นฐานการอบแห้งเป็นอย่างดี

2.2.1 ทฤษฎีทั่วไปของการอบแห้ง

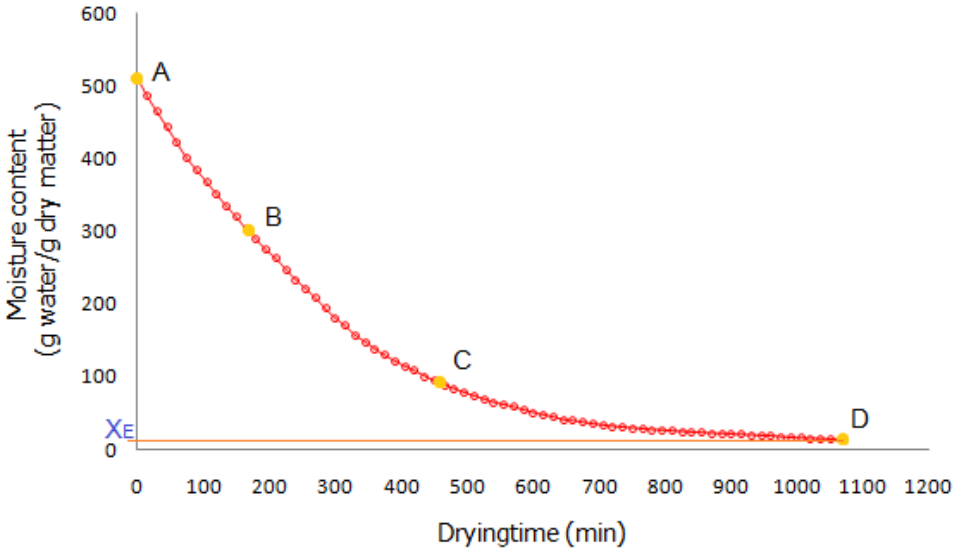
กระบวนการอบแห้งส่วนมากใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผลิตภัณฑ์และการถ่ายเทมวลความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศ ความร้อนจากอากาศที่ผลิตภัณฑ์ได้รับไปจะถูกใช้ในการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีชีวิต เช่น เมล็ดพืชส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อถูกทำให้แห้งในลักษณะของชั้นบางที่สภาวะอากาศคงที่ โดยอาศัยหลักการดังนี้

1. การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง สภาพนำความร้อน เป็นคุณสมบัติของสารที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัตถุซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันสภาพนำความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและความร้อน ค่าสภาพนำความร้อนของน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าของวัตถุแห้งที่เป็นอาหาร ซึ่งจะเกิดอาหารที่ลักษณะเป็นของแข็ง

2. การพาความร้อน จะเกิดกับอาหารที่เป็นของเหลวโดยกระแสความร้อนจะถูกพาผ่านช่องว่างที่เป็นอากาศหรือแก๊สจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง

3. การแผ่รังสี เป็นการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนไปยังอาหารซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีอบอาหารในสุญญากาศและการอบแห้งแบบเยือกแข็ง

ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งอาจเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 หรือ 3 แบบก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะอาหารที่นำไปอบแห้ง โดยการทำแห้งสมุนไพรเป็นการถ่ายเทความร้อน 2 แบบ ระหว่าง การพาความร้อนและการนำความร้อนโดยอัตราการอบแห้ง (drying rate) และความชื้นในสารนั้น (moisture content) แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้งกับเวลา

โดย

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (initial adjustment period -AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางอัตราการทำแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (constant rate)

2. ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant rate period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าพลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุ อย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

2.2.2 การทำแห้งด้วยลมร้อน

ทำได้โดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนที่ผ่านการให้ความร้อนจากเครื่องทำความร้อน (heater) เป่าผ่านอาหารทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อนโดยทางช่องระบายลมภายในตู้อบ โดยนิยมใช้อุณหภูมิอบแห้งประมาณ 45 - 65 องศาเซลเซียส (Ahmed, et.al., 2001) โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง มีดังนี้

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2. ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่าเนื่องจาก อัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3.ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมาก ๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจาก อากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศต้องมีค่าต่ำเพื่อที่จะสามารถรับเอาไอน้ำที่ระเหยจากอาหารไปได้ปริมาณมากและความเร็วลม โดยความเร็วลมที่เหมาะสมในการทำแห้งชาสมุนไพรมีเท่ากับ 1.5 เมตรต่อวินาที (Akpinar, et.al., 2003)

5. ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำๆ ลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.2.3 การทำแห้งแบบชั้นบาง

การทำแห้งแบบชั้นบาง (thin layers) ด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมการสำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น

Model	Equation	References
Newton	MR=exp(-kt)	Liu and Bakker-Arkema, 1996
Henderson and Pabis	MR=aexp(-kt)	Doymaz, 2003
page	MR=aexp(-kt^n)	Sharma and Prasad, 2000
Logarithmic	MR=aexp(-kt) +c	Togrul and Pehlivan, 2002
Midilli–Kucuk	MR=aexp(-kt^n) +bt	Midilli et al, 2002

โดย

MR = อัตราส่วนความชื้นของการเปลี่ยนแปลงความชื้น (dimensionless)

a, b, c, k, n = ค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการเลือกสมการและหาค่าคงที่ของสมการ โดยการประเมินค่า Chi-Square **ค่า** Root Mean Square Error (RMSE) **และเลือกสมการทางคณิตศาสตร์** (model) **แบบที่เหมาะสมกับ** R-Square **เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารที่เวลาเปลี่ยนไป**

2.2.4 ความชื้นในอาหาร

ความชื้น (Moisture Content) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสิ่งบ่งชี้คุณภาพและความปลอดภัยของอาหารเนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีต่าง ๆ ซึ่งมีผลทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย (นิธิยา, 2549)

โดยหลักการแล้ววิธีการหาปริมาณความชื้นในอาหารสามารถหาได้ตามมาตรฐานของ Association of Official Analytical Chemists หรือ AOAC ทั้งนี้วิธีการหาขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของอาหารนั้น ๆ หลักการหาความชื้นโดยทั่วไป คือ ชั่งน้ำหนักอาหารก่อน แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นในอาหารจนน้ำหนักคงที่ นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก (wet basis) ดังสมการที่ 2.1 และเปอร์เซ็นความชื้นฐานแห้ง (dry basis) ดังสมการที่ 2.2

$$\% wb = \frac{A-B}{A} \times 100 \text{----------2.1}$$

$$\% db = \frac{A-B}{B} \times 100 \text{----------2.2}$$

โดย

A = น้ำหนักก่อนเข้าอบ, กรัม

B = น้ำหนักหลังเข้าอบ, กรัม

%wb = %ความชื้นฐานเปียก

%db = %ความชื้นฐานแห้ง

2.2.5 การทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น

การทำแห้งแบบหลายขั้นตอนโดยการทำแห้งสมุนไพร ด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น เป็นวิธีการทำแห้งแบบ 2 ขั้นตอนที่ประยุกต์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลองศึกษาผลการทำแห้งของสมุนไพรโดยวัตถุประสงค์หลักเพื่อสามารถทำแห้งสมุนไพรได้เป็นอย่างดี และให้สมุนไพรนั้นคงคุณค่าทางโภชนาการ

2.3 ไอโซเทอมและการประเมินอายุการเก็บรักษา

2.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้น

ไอโซเทอมการดูดซับความชื้น (adsorption Isotherm) และไอโซเทอมการคายความชื้น (desorption Isotherm) เป็นการวิเคราะห์ความชื้นของอาหารที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟไอโซเทอมการดูดซับความชื้นจะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic product และถ้าอาหารไม่มีความไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เพิ่มขึ้นเส้นกราฟจะมีความชันน้อย อาหารประเภทนี้เรียก nonhygroscopic (นิธิยา, 2549)

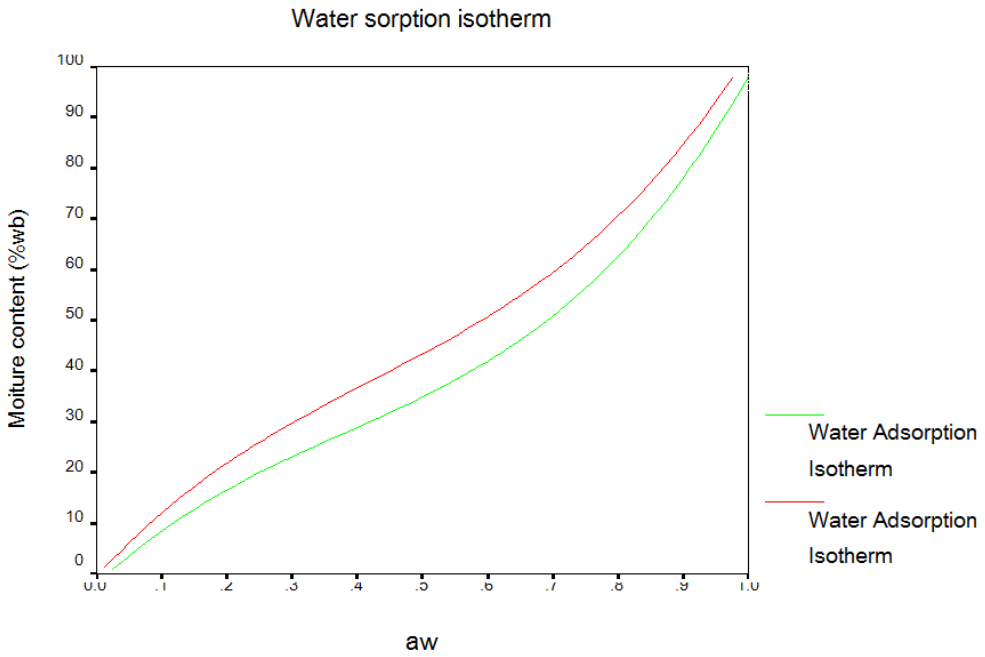
วิธีการหาไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้น มีหลายวิธี วิธีที่ใช้กันส่วนใหญ่มี 3 วิธี คือ The manometric, The gravimetric, The special method (Aviara et.al., 2004)

ตารางที่ 2.2 วิธีการหาค่าไอโซเทอมการดูดความชื้นและคายความชื้น

Gravimetric methods	
Continuously	Discontinuously
Evacuated systems Dynamic systems Static system	
Manometric, hygrometric methods	
Continuously	Discontinuously
Directly Indirectly	
Special methods	

ที่มา : Rockland & Beuchat (1987)

วิธีการหาไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้นของชาสมุนไพรใช้วิธี The static gravimetric ซึ่งสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างไปใส่ในโหลปรับความชื้น โดยมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่าง ๆ โดยโหลปรับความชื้นที่ใช้ต้องสามารถควบคุมความชื้นได้ดี แล้วตั้งอาหารทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นนำมาวัดค่าปริมาณความชื้น เพื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ จะได้กราฟไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้น ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ไอโซเทอมการดูดซับและการคายความชื้น

2.3.2 สมการสำหรับอธิบายไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้น

สมการสำหรับวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้น เป็นส่วนที่สำคัญสำหรับทฤษฎีอาหารแห้ง และสามารถนำสมการที่ได้ไปวิเคราะห์ เพื่อทำนายเวลาในการอบแห้งและทำนายอายุการเก็บอาหารแห้งในบรรจุภัณฑ์ได้ ซึ่งสมการที่นำมาใช้วิเคราะห์กราฟไอโซเทอมที่นิยมใช้มี 5 สมการ (Aviara et.al., 2004) ดังนี้

The modified GAB model เป็นสมการที่เหมาะกับพืช อาทิ ข้าวโพด ข้าวสาลี (Oyelade, 2008) พืชที่ใช้บริโภคใบ อาทิ ใบเตย เมล็ดพืชต่าง ๆ อาทิ เมล็ดดอกบานไม่รู้โรย เมล็ดทานตะวัน (Pagano and Mascheroni, 2005) และถั่วดำ (Swami et.al., 2005)

The modified Halsey model เป็นสมการที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยน้ำมัน มีโปรตีนสูงและธัญพืชเขตร้อนชื้นหลายชนิด อาทิ พริกไทย (Ertekin and Sutanoglu, 2000) ใบไม้แห้ง ชาเขียวและชาดำ (Ghodake et.al., 2006) ถั่วเหลือง (Aviara et.a., 2004) และเมล็ดมัสตาร์ด (Barrozo et.al., 2007)

The modified Oswin model เป็นสมการที่เหมาะสมกับข้าวโพดคั่ว ถั่วลิสง และพืชจำพวก ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง (Aviara et.al., 2005) พาสต้า แป้งถั่วเขียว ใบไม้แห้ง ชาเขียวและชาดำ (Ghodake et.al., 2007)

The modified Smith model เป็นสมการที่เหมาะสมกับพืชตระกูลถั่ว (Aviara et.a., 2004) เมล็ดพืชแห้งและพืชที่มีลำต้นใต้ดิน อาทิ ขิง ข่า

The modified Caurie model เป็นสมการที่เหมาะสมกับการทำแห้งแบบแผ่นบาง (monolayer) หรือการสูญเสียน้ำที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 2.3 สมการสำหรับอธิบายไอโซเทอมการดูดซับและคายความชื้น

Model	Equation	References
GAB	$M = ABa_w(K/T) / [(1-(B*a_w))(1-(Ba_w)+Ba_w(K/T))]$	Van den Berg and Bruin, 1981
Smith	$M = A-B\ln(1-a_w)$	Smith, 1947
Halsey	$M = -\ln(a_w) / [\exp(A+(BT)]^{-1/C}$	Halsey, 1948
Oswin	$M = a[a_w / 1-a_w]^b$	Oswin, 1946
Caurie	$M = \exp(a+ba_w)$	Caurie, 1970

ที่มา : (Nurhan and Hasan, 2006)

โดย

M = ความชื้น, %db

a_w = วอเตอร์แอกติวิตี้

T = อุณหภูมิ, ^oC

A, B และ C = ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเฉพาะตัวของแต่ละสมการ

2.3.3 การทำนายอายุการเก็บอาหารในบรรจุภัณฑ์

ไอโซเทอมแบบดูดความชื้น สามารถนำมาอธิบายการดูดน้ำกลับของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด โดยเฉพาะอาหารประเภทไวต่อความชื้น เช่น ขนมขบเคี้ยว ชาสมุนไพร อาหารแห้ง เป็นต้น จะเกิดการเสื่อมคุณภาพทางเคมีและกายภาพได้เร็ว จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้นำกราฟไอโซเทอมการดูดซับความชื้น มาวิเคราะห์ทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท (Rockland and Beuchat, 1986) ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งอายุการเก็บที่ได้จากการทำนายนี้เป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิการเก็บรักษาคงที่หนึ่ง ๆ

$$\theta_c = \frac{-\ln\left(\frac{M_e - M_i}{M_e - M_c}\right)}{\left(\frac{K}{X}\right)\left(\frac{A}{W_s}\right)\left(\frac{P_0}{B}\right)} \quad \text{----------(2.3)}$$

โดย

M_e = ได้จากการอ่านค่าความชื้นที่อยู่บนเส้นตรงที่เป็นส่วน extrapolate ไปจากส่วนกลางของกราฟต่อไปที่จุดที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสภาวะบรรยากาศที่ใช้เก็บตัวอย่าง, กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง

M_c = ปริมาณความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์อาหาร, กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง

M_i = ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารเริ่มแรกเมื่อบรรจุ, กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง

K = การยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ของบรรจุภัณฑ์, กรัมน้ำxเมตรต่อวันxเมตร^{2}xมิลลิเมตรปรอท

X = ความหนาของบรรจุภัณฑ์, เมตร

A = พื้นที่ผิวบรรจุภัณฑ์, เมตร^2

P_0 = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ สภาวะการเก็บรักษา, มิลลิเมตรปรอท

W_s = น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุ, กรัม

B = ความชันของเส้นตรงที่ได้จากกราฟไอโซเทอมการดูดซับความชื้น

θ_c = อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ณ จุดเริ่มต้นจนกระทั่งถึง จุดวิกฤต, วัน

2.3.4 อายุการเก็บรักษาของอาหาร

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ ตั้งแต่เริ่มผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหาร สามารถแบ่งแยกได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงส่วนนี้มักมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการจัดการกับอาหาร ในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต และการขนส่ง ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ การช้ำของผัก ผลไม้ การแตกหักของของผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพร หรือการจับตัวกันเป็นก้อนของชาสมุนไพร

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งขั้นตอนการผลิต และการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยาเคมีส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของอาหาร ที่มีปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาเป็นส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในอาหาร ได้แก่ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ (Enzymatic reaction)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) โดยตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร (Browning reaction) การสูญเสียกลิ่นของอาหารที่มีสารหอมระเหย

3. การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ต้องอาศัยปัจจัยที่เพียงพอประกอบด้วย จึงจะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ เช่น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล หรือเกลือ (Osmotic concentration) ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา เป็นต้น ลักษณะตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์ ได้แก่ การบูดเน่าของผลิตภัณฑ์อาหาร การเกิดเชื้อราของชาสมุนไพร เป็นต้น

บทที่ 3

การล้างและการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป

บทนำ

สมุนไพร เป็นวัตถุดิบจากพืช ที่ได้จากส่วนต่าง ๆ เช่น ราก ลำต้น ดอก ใบ สมุนไพร ที่ใช้เพื่อการแปรรูป มีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์หลายช่องทาง เช่น ระหว่างการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การขนส่งสมุนไพร ปริมาณจุลินทรีย์ในวัตถุดิบสมุนไพรเริ่มต้นมีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสมุนไพร ปริมาณจุลินทรีย์ในวัตถุดิบ บ่งชี้คุณภาพของวัตถุดิบ สุขอนามัยในการผลิต สุขลักษณะส่วนบุคคล ความสะอาดบริเวณสถานที่ประกอบการ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร อายุการเก็บรักษา และที่สำคัญคือ ความเสี่ยงต่อการพบจุลินทรีย์ก่อโรค ซึ่งหากร่างกายได้รับเข้าไปก็จะเป็นอันตรายทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ เช่น ท้องเดิน ปวดท้อง อาเจียน และบางชนิด อาจเป็นอันตรายขั้นร้ายแรงถึงชีวิตได้

การล้าง เป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบที่สำคัญก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปอาหาร มีวัตถุประสงค์ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก สิ่งแปลกปลอม และลดอันตรายในอาหาร (food hazard) โดยเฉพาะอันตรายจากจุลินทรีย์ ซึ่ง จากการสำรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้บ่งชี้สุขลักษะการผลิต ได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียก่อโรคที่มักปนเปื้อนในผักและผลไม้ในประเทศไทย ได้แก่ Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Listeria spp., (ปรีชา, 2553) เพื่อความปลอดภัยและเหมาะสมแก่การบริโภค (Codex Alimentarius Commission, 2003) โดยระบุไว้ว่าการล้างที่ดีต้องสามารถลดการปนเปื้อนที่พื้นผิวของวัตถุดิบได้ แต่อย่างไรก็ตามการล้างวัตถุดิบด้วยน้ำเปล่า หรือน้ำประปา สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้ไม่มากนัก ส่วนใหญ่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้เพียง 1 $\log_{10}$CFU/g (Singh et.al., 2002) เมื่อเทียบกับการใช้สารฆ่าเชื้อ เนื่องจากวัตถุดิบอาจเกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างสูง และอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคหรือการล้างไม่สะอาดหรือน้ำล้างที่ใช้ไม่สะอาด อาจเกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ การล้างด้วยน้ำธรรมดาไม่สามารถลดการปนเปื้อนเหล่านี้ได้ จึงมีการใช้สารฆ่าเชื้อ (sanitizer) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ผสมในน้ำล้าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดปริมาณจุลินทรีย์ สารฆ่าเชื้อที่นิยมใช้ในการล้างวัตถุดิบ ได้แก่ สารประกอบคลอรีน โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

คลอรีนเป็นสาร ที่นิยมใช้กว้างขวางเพื่อการล้างผักและผลไม้ สารประกอบคลอรีน เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ คลอรีนไดออกไซด์ โดยความเข้มข้นที่ใช้ อยู่ในช่วง 50-200 ppm ของคลอรีนออกฤทธิ์ (active chlorine) คลอรีนมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายแบคทีเรียก่อโรค ตัวอย่างเช่น ผักสด พบว่า การล้างด้วย สารไฮโปคลอไรท์ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์มาให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งสามารถลดลงได้ 3-4 $\log_{10}$CFU/g และนอกจากนี้ยังพบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสี

และรูปร่างของผัก ไม่พบการบวมหรือการเหี่ยวของผักสด (กฤติยา, 2546) คลอรีนอาจใช้คลอรีนร่วมกับโอโซน ทำให้มีประโยชน์ต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผัก รวมถึงคุณภาพน้ำที่ใช้สำหรับล้าง (Garcia et.al., 2003)

แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ($Ca(OCl)_2$) เป็นรูปแบบหนึ่งของสารประกอบคลอรีน มีลักษณะเป็นผง หรืออัดเป็นเม็ด ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลางและขนาดย่อม เพราะราคาถูก หาซื้อและจัดเตรียมได้ง่าย โดยใช้เพื่อฆ่าเชื้อวัตถุดิบ ฆ่าเชื้อน้ำที่ใช้ในกระบวนการ เช่น น้ำหล่อเย็น น้ำละลายวัตถุดิบที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (thawing) นอกจากการใช้เพื่อการฆ่าเชื้อแล้วการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ในน้ำล้างผัก ผลไม้ ยังให้ผลดีต่อเนื้อสัมผัสของหลังการล้างเนื่องจาก เกลือแคลเซียมสามารถรวมตัวกับเพคติน (pectin) ในผนังเซลของผัก ผลไม้ ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงขึ้น และสามารถต้านทานโรคต่าง ๆ ได้ดี ส่งผลให้ผัก ผลไม้ ไม่เกิดการช้ำหรือเสียหายได้ง่ายเนื่องจากการล้าง

Behrsing et.al. (2000) ได้ศึกษาประสิทธิภาพแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ต่อการล้างผัก พบว่าหลังจากการจุ่มน้ำสามารถลดเชื้อ E. coli ในผักกาดหอมและบล็อกโคลี่ได้ประมาณ 1.5-1.8 log_{10}CFU/g จากปริมาณ *E.coli* เริ่มต้น 6.8 log_{10}CFU/g เมื่อแช่ผักในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 50 mg/L เวลา 30 วินาที สามารถลดปริมาณ *E.Coli* ของผักกาดหอมได้ 1.9-2.8 log_{10}CFU/g และบล็อกโคลี่ได้ 1.7-2.5 log_{10}CFU/ g และเมื่อแช่ผักในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 100 mg/L ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า สามารถลดปริมาณ *E.Coli* ได้ประมาณ 2.4 log_{10}CFU/g ซึ่งพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อความสามารถในการลดปริมาณ *E.Coli*

Francis G.A.et.al. (2002) ได้ศึกษาการเจริญเติบโต ของเชื้อ *Listeria innocua* และ *E.Coli* กับสารต้านจุลินทรีย์ (สารละลายคลอรีน 100 ppm นาน 5 นาที สารละลายกรดซิตริก 1% นาน 5 นาที วิตามินซี 1% นาน 5 นาที) ในผัก เก็บไว้ 14 วัน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณ *L.innocua* และ *E.Coli* ที่ไม่ผ่านการจุ่มสารต้านจุลินทรีย์ ในผักกาดหอม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1-1.5 log_{10}CFU/g ในขณะที่กะหล่ำปลี มีแนวโน้มลดลง 1-1.5 log_{10}CFU/g ส่วนปริมาณ *L.innocua* และ *E.Coli* ที่ผ่านการจุ่มสารต้านจุลินทรีย์ก่อนเก็บรักษาสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ 1-1.5 log_{10}CFU/g ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์ จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์มากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นของวัตถุดิบ

วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของการล้าง ด้วยสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Aerobic plate count) ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliform) และ *Escherichia coli* ที่พบในพืชสมุนไพร 3 ชนิดได้แก่ ขมิ้น ใบเตย และดอกอัญชัน

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 การเตรียมสมุนไพร

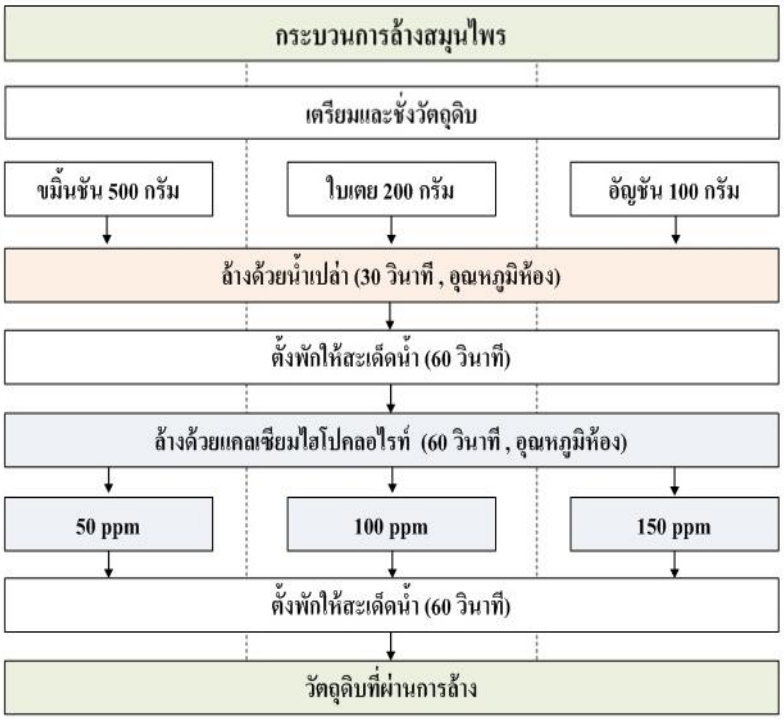
สมุนไพรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ขมิ้น เลือกเฉพาะหัวที่สมบูรณ์ ไม่เน่าเสีย ใบเตยตัดส่วนโคนใบทิ้งประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วตัดแบ่งออกเป็น 3 ท่อนเท่า ๆ กัน ส่วนดอกอัญชันเด็ดฐานรองดอกออก ใช้เฉพาะกลีบดอก ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 การเตรียมสมุนไพรก่อนล้าง

3.1.2 **การล้าง**

การทดลองใช้ขมิ้น 500 กรัม ใบเตย 200 กรัม และดอกดอกอัญชัน 100 กรัม ต่อ 1 การทดลองทำการล้าง 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ล้างในน้ำเปล่าในถังที่บรรจุน้ำ 10 ลิตร เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำสมุนไพรขึ้นสะเด็ดน้ำ 1 นาที ขั้นตอนที่สองเป็นการล้างด้วยสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ที่ความเข้มข้น 50 100 และ 150

ppm อีก 1 นาที จึงนำสมุนไพรขึ้นสะเด็ดน้ำ โดยเตรียมสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 0.5 1 และ 1.5 กรัมตามลำดับ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองล้างสมุนไพร

การตรวจเชื้อ โดยการสุ่มวัตถุดิบสมุนไพรที่ผ่านการล้างด้วยวิธีต่าง ๆ ไปตรวจเชื้อด้วยวิธีการตรวจเชื้อจุลชีววิทยาทางอาหารด้วยวิธีการตรวจสอบที่รวดเร็ว (rapid method) โดยใช้แผ่นตรวจเชื้อ 3M Petrifilm^{TM} Plates

3.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปริมาณการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เริ่มต้นบ่งชี้ถึงความสะอาดของวัตถุดิบซึ่งมีผลต่อคุณภาพ ความปลอดภัย และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แปรรูป จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในวัตถุดิบพบว่าก่อนการล้างขมิ้น ใบเตย และดอกดอกอัญชัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 6.45 7.41 และ 5.84 $\log_{10}$CFU/g ตามลำดับ พบว่า ใบเตยมีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์สูงที่สุดเนื่องจากใบเตย เป็นพืชครึ่งบกครึ่งน้ำ ปลูกได้ดีตามชายน้ำ มีลำต้นเตี้ยโคนต้นแช่อยู่ในดินโคลนแฉะ จึงมีโอกาสปนเปื้อนได้สูงมากอีกทั้งส่วนที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบคือใบซึ่งมีพื้นผิวสัมผัสมากลักษณะใบเป็นกาบเรียงทับซ้อนกัน ทำให้ง่ายต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ (NACMCF, 1999) ถึงแม้ใบเตยที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้ตัดแต่งเอาส่วนรากและโคนใบออกแล้ว 2 เซนติเมตรก็ยังพบปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในปริมาณที่สูงมาก วัตถุดิบที่พบปริมาณจุลินทรีย์รองลงมาคือขมิ้น ซึ่งเป็นพืชหัว ส่วนที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบคือลำต้นใต้ดินก็ มีการปนเปื้อนได้มากเช่นกัน ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในขมิ้นน้อยกว่าในใบเตยเนื่องจากขมิ้นมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่าและขมิ้นที่

จำหน่ายตามท้องตลาดได้ผ่านการล้างเบื้องต้นเพื่อกำจัดดินและสิ่งสกปรกที่ติดมาจากการเพาะปลูกแล้ว สำหรับดอกดอกอัญชันพบการปนเปื้อนน้อยที่สุดเนื่องจากส่วนที่ใช้คือดอก โอกาสปนเปื้อนน้อยกว่าใบเตย และขมิ้น ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นของขมิ้นและดอกดอกอัญชันน้อยกว่า งานวิจัยที่พบในผักชนิดอื่น (Behrsing et.al., 2000) ส่วนของใบเตยมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่า ดังรูปที่ 3.3

การล้างด้วยน้ำเปล่า เป็นวิธีการทำความสะอาดสมุนไพรที่นิยมใช้ทั่วไปจากการทดลองพบว่าหลังจากการล้างขมิ้น ใบเตย ดอกอัญชัน ด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 30 วินาที พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงเหลือ 4.76 5.82 และ 4.79 $\log_{10}$CFU/g หรือลดลงได้ 1.69 1.59 และ 1.05 $\log_{10}$CFU/g คือลดลง 97.93% 97.45% และ 91.01% จากปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับการให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อตามงานวิจัยของ (Singhet.al., 2002) และ (Behrsing et.al., 2000)

การล้างด้วยน้ำเปล่าลดปริมาณจุลินทรีย์ในขมิ้น ให้ลดลงมากที่สุดเพราะขมิ้นเป็นพืชหัวใต้ดินโอกาสเกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แอโรบิคแบคทีเรีย ซึ่งต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตจึงมีน้อยกว่า อย่างไรก็ตามหลังการล้างด้วยน้ำเปล่าปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในวัตถุดิบทุกชนิดยังมีปริมาณสูงกว่า 10,000 $\log_{10}$CFU/g

แช่ขมิ้นหลังการล้างน้ำเปล่า ในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้น 50 100 และ 150 ppm เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังการแช่มีปริมาณเท่ากับ 5.53 3.41 และ 3.37 $\log_{10}$CFU/g ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้แคลเซียมคลอไรท์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เมื่อใช้ความเข้มข้น 100 ppm สามารถลดจุลินทรีย์ลงได้อีก 1.35 $\log_{10}$CFU/g จากปริมาณจุลินทรีย์หลังล้างน้ำเปล่า และทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงจากจุลินทรีย์เริ่มต้น 3.04 $\log_{10}$CFU/g ซึ่งทำให้วัตถุดิบสะอาดและปลอดภัยยิ่งขึ้นก่อนนำไปแปรรูป

แช่ใบเตยหลังล้างในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 50 100 และ 150 ppm เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังการแช่ มีปริมาณเท่ากับ 5.02 4.89 และ 4.72 $\log_{10}$CFU/g ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อใช้ความเข้มข้น 50 ppm สามารถลดจุลินทรีย์ลงได้อีก 0.8 $\log_{10}$CFU/g จากปริมาณจุลินทรีย์หลังล้างน้ำเปล่า และทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงจากจุลินทรีย์เริ่มต้น 2.39 $\log_{10}$CFU/g ซึ่งทำให้ได้วัตถุดิบที่สะอาดและปลอดภัยก่อนนำไปแปรรูป

แช่ดอกอัญชันหลังล้างน้ำเปล่าในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 50 100 และ 150 ppm เป็นเวลา 1 นาที พบว่า ไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (มีปริมาณน้อยกว่า 10 $\log_{10}$CFU/g) แสดงว่าการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ สามารถให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อได้สูง ดังรูปที่ 3.3

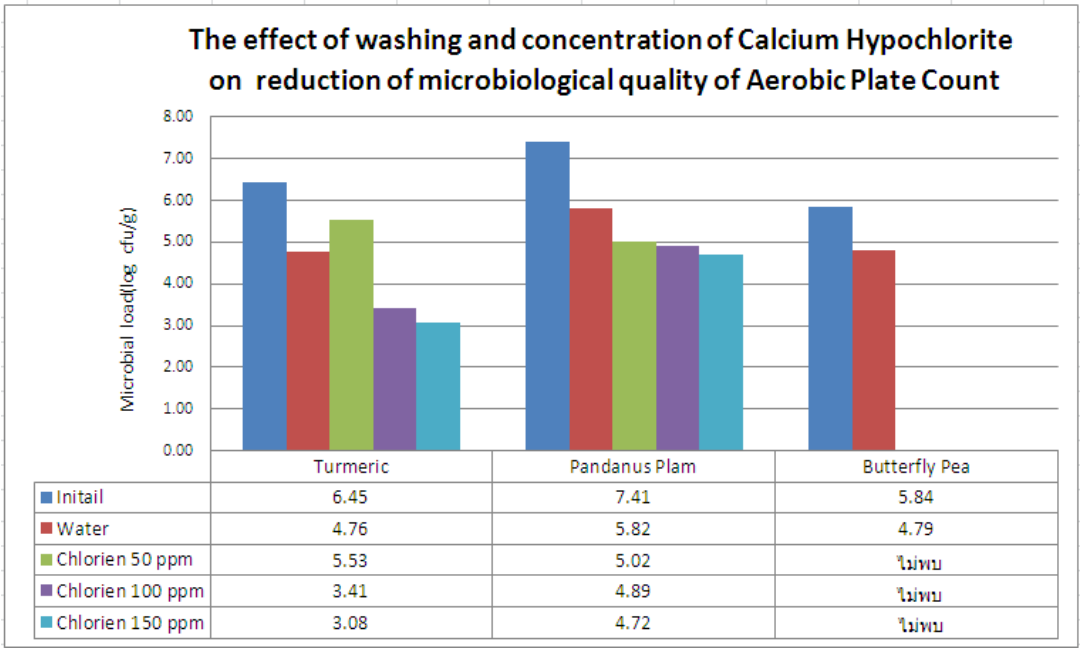
หากพิจารณาเฉพาะปริมาณโคลิฟอร์ม จากการทดลองพบว่า หลังจากการล้างขมิ้น ใบเตย ดอกดอกอัญชัน ด้วยน้ำเปล่าเป็นเวลา 30 วินาที พบว่า ปริมาณโคลิฟอร์มลดลงเหลือ 2.72 และ 3.81 $\log_{10}$CFU/g ไม่พบปริมาณโคลิฟอร์มในดอกอัญชัน หรือลดลงได้ 1.07 และ 0.98 $\log_{10}$CFU/g คือลดลง 91.84% และ 89.34% จากปริมาณโคลิฟอร์มเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับการให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อตามงานวิจัยของ (Singh et.al., 2002) และ (Behrsing et.al., 2000)

การล้างด้วยน้ำเปล่าลดปริมาณโคลิฟอร์มในดอกอัญชันให้ลดลงมากที่สุดโดยให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูงโดยตรวจไม่พบปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (มีปริมาณน้อยกว่า 10 $\log_{10}$CFU/g) เพราะดอกอัญชันเป็นพืชดอก ห่างไกลจากการปนเปื้อน เช่น ดิน น้ำ โอกาสพบปริมาณโคลิฟอร์มจึงน้อยกว่า รองลงมาคือขมิ้นและใบเตยมีค่ามากสุด

แคลเซียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารประกอบคลอรีนที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผัก ผลไม้ ผลของการแช่ขมิ้นหลังการล้างน้ำเปล่า ในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้น 50 100 และ 150 ppm เป็นเวลา 1 นาที พบว่ามีปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดเท่ากับ 2.96 2.08 และ 1.78 $\log_{10}$CFU/g ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโคลิฟอร์มเมื่อใช้ความเข้มข้น 150 ppm สามารถลดปริมาณโคลิฟอร์มลงได้อีก 0.94 $\log_{10}$CFU/g จากปริมาณโคลิฟอร์มหลังล้างน้ำเปล่า และทำให้ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลงจากเริ่มต้น 2.01 $\log_{10}$CFU/g ซึ่งทำให้วัตถุดิบสะอาดและปลอดภัยยิ่งขึ้น

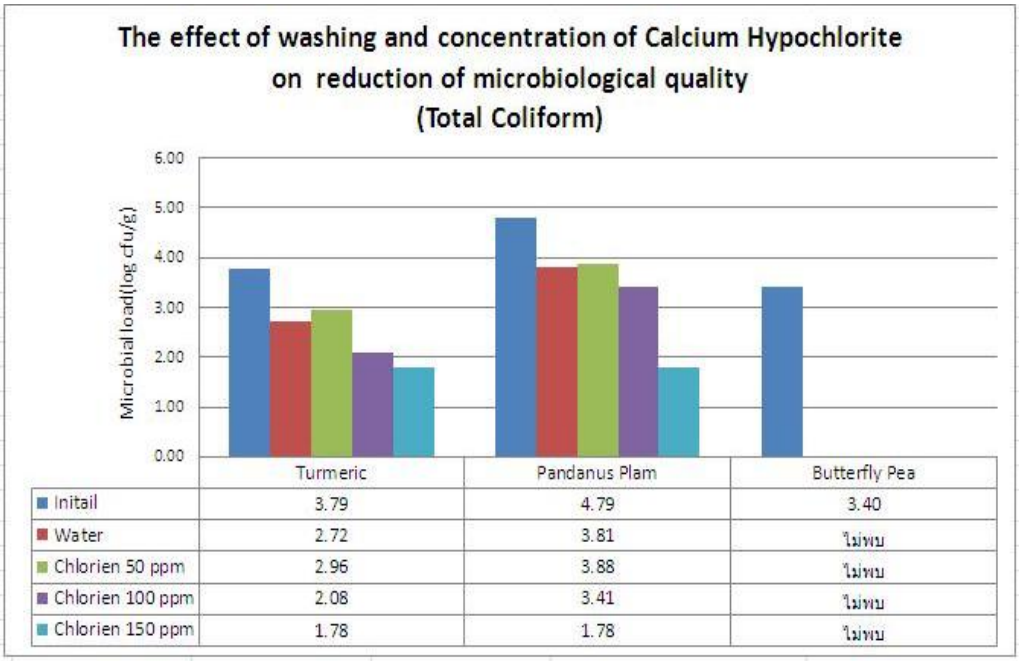
แช่ใบเตยหลังล้างในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 50 100 และ 150 ppm เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดหลังการแช่ มีปริมาณเท่ากับ 3.88 3.41 และ 1.78 $\log_{10}$CFU/g ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ โคลิฟอร์ม เมื่อใช้ความเข้มข้น 150 ppm โดยสามารถลดปริมาณโคลิฟอร์มลงได้อีก 2.03 $\log_{10}$CFU/g จากปริมาณโคลิฟอร์มหลังล้างน้ำเปล่า และทำให้ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลงจากเริ่มต้น 3.4 $\log_{10}$CFU/g ซึ่งทำให้ได้วัตถุดิบที่สะอาดและปลอดภัย

แช่ดอกดอกอัญชันหลังล้างน้ำเปล่าในสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 50 100 และ 150 ppm เป็นเวลา 1 นาที พบว่า ไม่พบปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (มีปริมาณน้อยกว่า 10 $\log_{10}$CFU/g) แสดงว่าการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์สามารถให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อได้สูง ดังรูปที่ 3.4



	Turmeric	Pandanus Plam	Butterfly Pea
Initail	6.45	7.41	5.84
Water	4.76	5.82	4.79
Chlorien 50 ppm	5.53	5.02	ไม่พบ
Chlorien 100 ppm	3.41	4.89	ไม่พบ
Chlorien 150 ppm	3.08	4.72	ไม่พบ

รูปที่ 3.3 ผลของการล้างและความเข้มข้นของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในวัตถุดิบสมุนไพร



	Turmeric	Pandanus Plam	Butterfly Pea
Initail	3.79	4.79	3.40
Water	2.72	3.81	ไม่พบ
Chlorien 50 ppm	2.96	3.88	ไม่พบ
Chlorien 100 ppm	2.08	3.41	ไม่พบ
Chlorien 150 ppm	1.78	1.78	ไม่พบ

รูปที่ 3.4 ผลของการล้างและความเข้มข้นของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ต่อปริมาณโคลิฟอร์มในวัตถุดิบสมุนไพร

3.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการล้างวัตถุดิบสมุนไพรขมิ้น ใบเตย และดอกอัญชัน เมื่อพิจารณาจากปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณโคลิฟอร์มพบว่า ขมิ้น ใบเตย และดอกอัญชัน หลังจากการล้าง ด้วยน้ำเปล่า สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์และโคลิฟอร์มได้ประมาณ 1 $\log_{10}$CFU/g ซึ่งยังมีปริมาณที่สูงกว่า 10,000 $\log_{10}$CFU/g เมื่อพิจารณาผลของการล้าง และความเข้มข้นของแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณโคลิฟอร์มในวัตถุดิบสมุนไพรขมิ้น ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 100 ppm สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์มาให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ แต่เมื่อพิจารณาปริมาณโคลิฟอร์มพบว่ายังไม่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงมาให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ ดังนั้นความเข้มข้นแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่เหมาะสมในการล้างขมิ้นคือ150 ppm ส่วนใบเตยหากใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้น 50 ppm สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงมาให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณโคลิฟอร์มพบว่ายังไม่สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงมาให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ ดังนั้นความเข้มข้นแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่เหมาะสมในการล้างใบเตยคือ 150 ppm และดอกอัญชัน ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 50 ppm สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์มาให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณโคลิฟอร์มพบว่าเพียงล้างด้วยน้ำเปล่าก็สามารถปริมาณจุลินทรีย์ลงมาให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ ดังนั้นความเข้มข้นแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ที่เหมาะสมในการล้างขมิ้นคือ 50 ppm

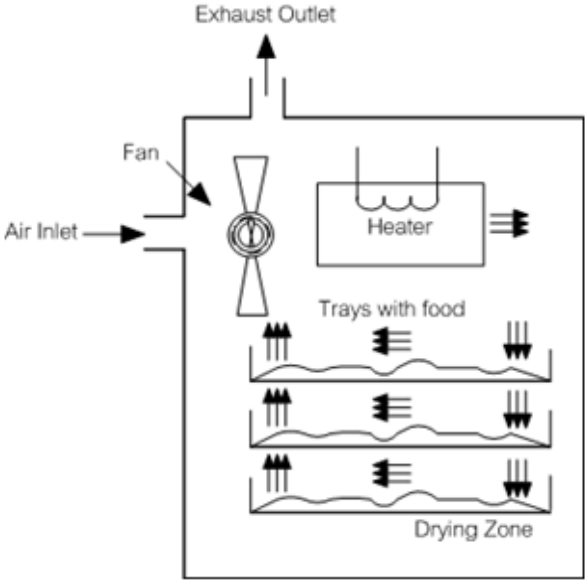
บทที่ 4
การทำแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด

บทนำ

การทำแห้ง (dehydration) หรือการดึงน้ำออก เป็นกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อกำจัดความชื้นออกจากอาหารด้วยการระเหยน้ำ โดยอาศัยความร้อนแฝงของการระเหยการทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่นิยมใช้กันมานาน โดยวิธีการดั้งเดิมคือการนำอาหารไปตากแดดจนอาหารนั้นแห้ง สามารถเก็บไว้ได้นาน การทำแห้งเป็นการกระทำโดยการลดความชื้นของอาหารด้วยการระเหยน้ำออกจากผิวของอาหาร ปัจจุบันการทำแห้งถือเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญในระดับอุตสาหกรรม มีผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่มาจากการทำแห้ง

การทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด

เครื่องอบลมร้อนแบบถาด (tray drier) ประกอบด้วยถาดเตี้ย ๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบาง ๆ ขนาด 2-6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตรต่อวินาที ของพื้นที่ผิวของถาดมีระบบท่อหรือแบบเฟิลเพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจ่ายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มขึ้นด้านบน หรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ 1-20 ตันต่อวัน หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำ แต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทำงานของเครื่องอบลมร้อนแบบถาด

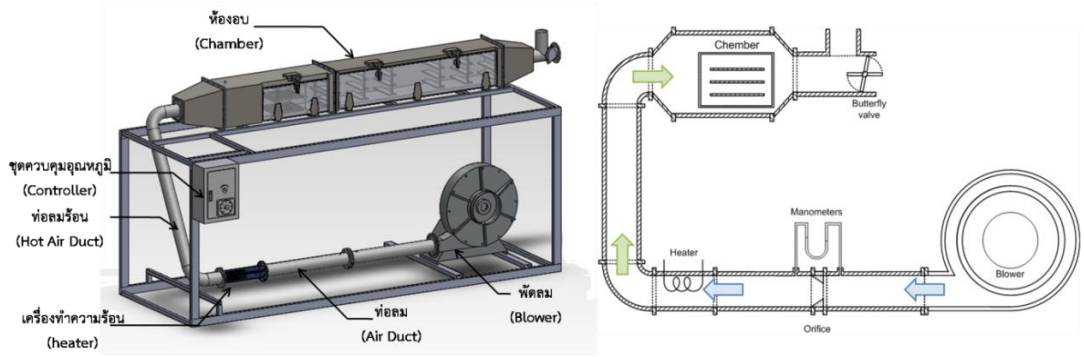
วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งชาสมุนไพร ซึ่งประกอบไปด้วย ตะไคร้ ใบเตย และดอกอัญชัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ คือ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมร้อนเท่ากับ 1.5 เมตรต่อวินาที ด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 วิธีการทดลองทำแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด

นำสมุนไพรที่ผ่านการลดขนาดแล้วใส่ถาดตะแกรง จำนวน 3 ตะแกรง โดยน้ำหนักตะไคร้ ใบเตย และดอกดอกอัญชัน ใช้น้ำหนักถาดละ 150 50 และ 40 กรัม ตามลำดับ เกลี่ยให้ทั่ว บันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้น นำเข้าเครื่องอบลมร้อนแบบถาด โดยใช้ความเร็วลมทำแห้งเท่ากับ 1.5 เมตรต่อวินาที (Akpinar, et.al., 2003) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำถาดตะแกรงผลิตภัณฑ์ออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 15 นาที จนน้ำหนักผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่ซ้ำกัน 2 ค่า ทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้กับอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส (Ahmed, et.al., 2001) โดยใช้เครื่องอบลมร้อนแบบถาด ดังรูปที่ 4.2



ก ข

รูปที่ 4.2 ก เครื่องอบลมร้อนแบบถาด ข ทิศทางการไหลของลม

4.1.2 การใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น

โดยวิเคราะห์ความชื้นที่ได้จากการทดลองด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 2.1 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา

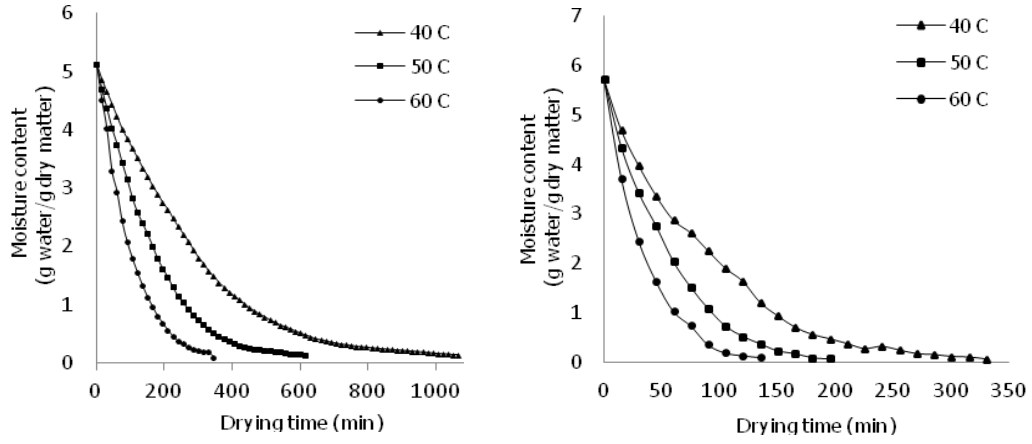
ในการเลือกสมการและหาค่าคงที่ของสมการ โดยการประเมินค่า R-square (R^2) โดยค่า R-square ต้องมีค่ามาก และประเมินค่า Chi-square (X^2) ค่า Root Mean Square Error (RMSE) โดยทั้ง 2 ค่านี้ต้องมีค่าน้อย เพื่อเลือกสมการทางคณิตศาสตร์แบบที่เหมาะสม **ทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารที่เวลาเปลี่ยนไป**

4.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

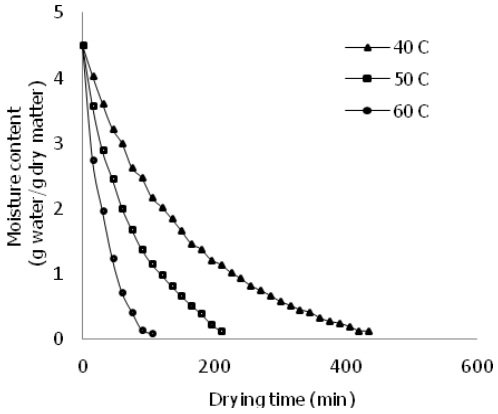
4.2.1 ผลการทำแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาด

จากการทดลองตะไคร้ ใบเตย และดอกอัญชัน ได้กราฟความชื้นกับเวลาดังรูปที่ 4.3 ซึ่งค่าความชื้นเริ่มต้น 83.68 85.12 และ 81.84 % wet basis (ฐานเปียก) ตามลำดับ พบว่า การทำแห้งตะไคร้ที่อุณหภูมิ 60 50 และ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 345 นาที 615 นาที และ 17 ชั่วโมง 45 นาที ตามลำดับ ส่วนใบเตยที่อุณหภูมิเดียวกัน ใช้ระยะเวลาในการทำแห้ง 150 195 และ 330 นาที ตามลำดับ และดอกอัญชันที่อุณหภูมิเดียวกันใช้เวลาในการทำแห้ง 105 210 และ 435 นาที ตามลำดับ จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นที่สุด

ผลการทดลองได้ค่าความชื้นสมดุลของตะไคร้ ใบเตย และดอกอัญชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้ ตะไคร้ที่อุณหภูมิ 60 50 และ 40 องศาเซลเซียส ได้ความชื้น 0.1345 0.1262 และ 0.0959 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง ตามลำดับ ใบเตยที่อุณหภูมิเดียวกัน ได้ความชื้น 0.0544 0.0614 และ 0.0729 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง และดอกอัญชันได้ความชื้น 0.1316 0.1283 และ 0.0970 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง ตามลำดับ ซึ่งความชื้นสมดุลที่ได้นี้เป็นไปตามมาตรฐานของสมุนไพรแห้งตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด โดยที่ตะไคร้ต้องมีความชื้นไม่เกิน 12 % wet basis ใบเตยไม่เกิน 7 % wet basis (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552)



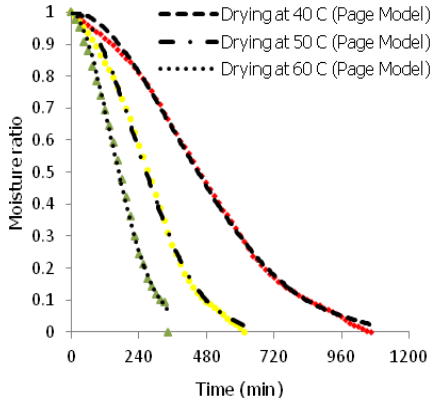
ก ข



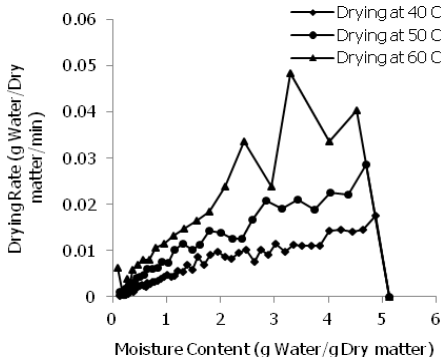
ค

รูปที่ 4.3 กราฟความชื้นกับเวลาของสมุนไพร ก ตะไคร้ ข ใบเตย และ ค ดอกอัญชัน

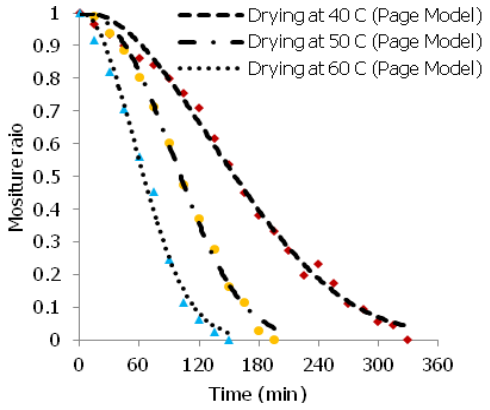
จากกราฟอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของตะไคร้ และใบเตยดังรูปที่ 4.4 และ 4.6 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ในช่วงแรกจะดึงน้ำออกได้ยาก และหลังจากนั้นจะทำให้ความชื้นลดลงอย่างคงที่จนเข้าสู่สมดุล ส่วนดอกอัญชันดังรูปที่ 4.8 ความชื้นลดลงอย่างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ในช่วงแรกอัตราการทำแห้งของใบเตย และดอกอัญชัน ดังรูปที่ 4.7 และ 4.9 ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งส่งผลให้ความชื้นในวัสดุลดลง มีช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ หลังจากนั้นอัตราการทำแห้งลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนกราฟอัตราการทำแห้งของตะไคร้ ดังรูปที่ 4.5 ช่วงแรกอัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่หลังจากนั้นอัตราการทำแห้งจะเพิ่ม และลดเป็นค่าแกว่งไปมา ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างของตะไคร้มีลักษณะที่ซับซ้อนรวมทั้งความหนาบางของวัสดุ การดึงน้ำออกในการทำแห้งจึงมีลักษณะเป็นช่วง ๆ แต่หลังจากนั้นอัตราการทำแห้งก็ลดลงจนถึงค่าที่สมดุลเช่นเดียวกัน



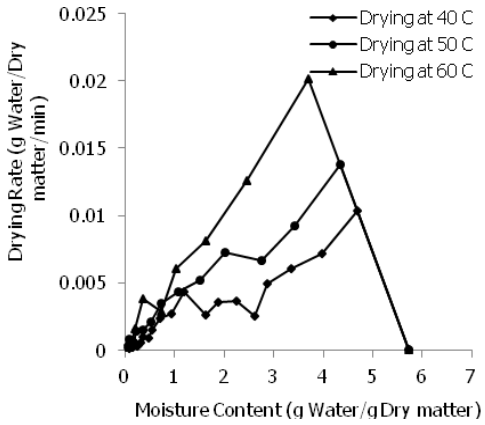
รูปที่ 4.4 กราฟอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของตะไคร้



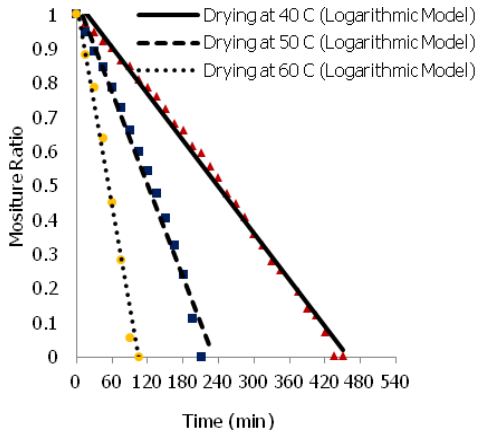
รูปที่ 4.5 กราฟอัตราการทำแห้งกับความชื้นของตะไคร้



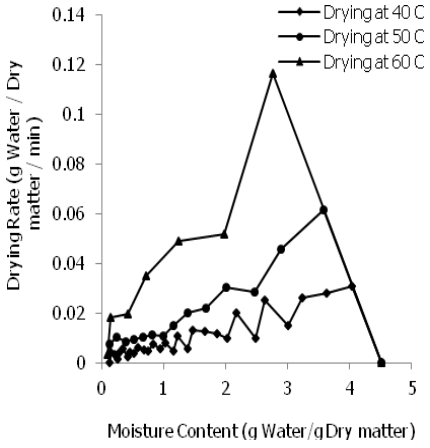
รูปที่ 4.6 กราฟอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของใบเตย



รูปที่ 4.7 กราฟอัตราการทำแห้งกับความชื้นของใบเตย



รูปที่ 4.8 กราฟอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของดอกอัญชัน



รูปที่ 4.9 กราฟอัตราการทำแห้งกับความชื้นของดอกอัญชัน

4.2.2 ผลการวิเคราะห์สมการการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น

สามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของตะไคร้ คือ แบบจำลองของเพจ (Page model) ที่มีค่า R^2 = 0.9985 0.9977 และ 0.9950 ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์คือ ค่า X^2 = 0.0000 0.0001 และ 0.0004 ตามลำดับ และ RMSE = 0.0041 0.0054 และ 0.0072 ดังตารางที่ 4.1 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของใบเตย คือ แบบจำลองของเพจที่มีค่า R^2 = 0.9940 0.9963 และ 0.9920 ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้การวิเคราะห์ทาง

คณิตศาสตร์คือ ค่า X^2 = 0.0000 0.0001 และ 0.0003 ตามลำดับ และ RMSE = 0.0002 0.0072 และ 0.0104 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดอกอัญชัน คือ แบบจำลองของลอกการิทึมิกที่มีค่า R^2 = 0.9953 0.9827 และ 0.9865 ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์คือ ค่า X^2 = 0.0001 0.0005 และ 0.0006 ตามลำดับ และ RMSE = 0.0071 0.0134 และ 0.0135 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3

ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมีบางสภาวะที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่น ฝนตก ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในอากาศมีสูงทำให้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าเครื่องทำความร้อนสูง ทำให้อัตราการทำแห้งและประสิทธิภาพในการทำแห้งลดลง และคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การมีลักษณะเปลือกเป็นชั้น ๆ แบบตะไคร้จึงทำให้อัตราการทำแห้งลดลงและเพิ่มขึ้นสลับกันเป็นระยะ ๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนอัตราส่วนความชื้นของตะไคร้

Model	Mathmatical Expression					R-Square	X-Square	RMSE
	a	b	c	k	n			
Drying Model at 40 C								
Newton	-	-	-	0.0018	-	0.8947	0.0024	0.0406
Handerson	1.1932	-	-	0.0022	-	0.9343	0.0019	0.0319
Page	-	-	-	0.0000	1.9320	**0.9985**	**0.0000**	**0.0041**
Logarithmic	2.2090	-	-1.1204	-1.1204	-	0.9856	0.0005	0.0139
Midilli	1.0156	-0.0011	-	-328.1316	-50.9645	0.9863	0.0012	0.0164
Drying Model at 50 C								
Newton	-	-	-	0.0032	-	0.8858	0.0027	0.0433
Handerson	1.1897	-	-	0.0038	-	0.9248	0.0022	0.0350
Page	-	-	-	0.0000	2.0215	**0.9977**	**0.0001**	**0.0054**
Logarithmic	2.5025	-	-1.4173	-1.4173	-	0.9826	0.0006	0.0154
Midilli	1.0265	-0.0019	-	-460.9420	-69.0986	0.9736	0.0012	0.0166
Drying Model at 60 C								
Newton	-	-	-	0.0047	-	0.8954	0.0022	0.0382
Handerson	1.1524	-	-	0.0056	-	0.9288	0.0018	0.0312
Page	-	-	-	0.0000	1.8902	**0.9950**	**0.0001**	**0.0072**
Logarithmic	8.3787	-	-7.3286	-7.3286	-	0.9913	0.0003	0.0103
Midilli	1.0457	-0.0031	-	-329.6609	-46.7424	0.9906	0.0004	0.0095

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนอัตราส่วนความชื้นของใบเตย

Model	Mathmatical Expression					R-Square	X-Square	RMSE
	a	b	c	k	n			
Drying Model at 40 C								
Newton	-	-	-	0.0053	-	0.8775	0.0024	0.0028
Handerson	1.1654	-	-	0.0062	-	0.9126	0.0019	0.0025
Page	-	-	-	**0.0000**	**2.0516**	**0.9940**	**4.34E-05**	**0.0002**
Logarithmic	6.2908	-	-1.1204	0.0006	-	0.9824	0.0005	0.0007
Midilli	1.0518	-0.0034	-	21.0944	-83.7943	0.9804	0.0012	0.0012
Drying Model at 50 C								
Newton	-	-	-	0.0081	-	0.8450	0.0040	0.0517
Handerson	1.2004	-	-	0.0099	-	0.8968	0.0033	0.0418
Page	-	-	-	**1.13E-05**	**2.3878**	**0.9963**	**0.0001**	**0.0072**
Logarithmic	117.4802	-	-116.3747	0.0001	-	0.9884	0.0005	0.0141
Midilli	1.1272	-0.0061	-	19.3860	-77.6481	0.9901	0.0042	0.0331
Drying Model at 60 C								
Newton	-	-	-	0.0135	-	0.8917	0.0028	0.0447
Handerson	1.1323	-	-	0.0151	-	0.9137	0.0028	0.0407
Page	-	-	-	**0.0001**	**2.0471**	**0.9920**	**0.0003**	**0.0104**
Logarithmic	2.6671	-	-1.6119	0.0037	-	0.9794	0.0009	0.0187
Midilli	1.0099	-0.0075	-	15.0178	-61.1366	0.9643	0.0017	0.0177

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการเปลี่ยนอัตราส่วนความชื้นของดอกอัญชัน

Model	Mathmatical Expression					R-Square	X-Square	RMSE
	a	b	c	k	n			
Drying Model at 40 C								
Newton	-	-	-	0.0033	-	0.8826	0.0022	0.0364
Handerson	1.1341	-	-	0.0038	-	0.9124	0.0021	0.0309
Page	-	-	-	2.43E-05	1.8797	0.9827	0.0004	0.0135
Logarithmic	165.6412	-	-164.5953	1.38E-05	-	**0.9953**	**0.0001**	**0.0071**
Midilli	1.0518	-0.0023	-	21.8215	-86.5607	0.9959	0.0007	0.0133
Drying Model at 50 C								
Newton	-	-	-	0.0063	-	0.8715	0.0023	0.0347
Handerson	1.1083	-	-	0.0072	-	0.8950	0.0023	0.0313
Page	-	-	-	0.0001	1.8895	0.9674	0.0007	0.0177
Logarithmic	246.7387	-	-245.6891	1.85E-05	-	**0.9827**	**0.0005**	**0.0134**
Midilli	1.0652	-0.0047	-	17.8792	-71.6792	0.9827	0.0007	0.0118
Drying Model at 60 C								
Newton	-	-	-	0.0156	-	0.8660	0.0033	0.0443
Handerson	1.1111	-	-	0.0174	-	0.8856	0.0036	0.0425
Page	-	-	-	0.0001	2.1899	0.9832	0.0005	0.0161
Logarithmic	173.1686	-	-172.1203	0.0001	-	**0.9865**	**0.0006**	**0.0135**
Midilli	1.0820	-0.0107	-	-50.7248	-85.5332	0.9871	0.0112	0.0534

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำแห้งสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ตะไคร้ ใบเตย และดอกอัญชัน พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง ทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งได้อย่างรวดเร็ว โดยตะไคร้ใช้เวลาในการทำแห้งนาน ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นกาบ เรียงซ้อนกัน ทำให้น้ำระเหยออกมาได้ยากกว่า จึงใช้ระยะเวลานานในการทำแห้ง ส่วนใบเตย และดอกอัญชัน ใช้เวลาในการทำแห้งที่สั้นกว่า เนื่องจากกาบใบของใบเตย และกลีบดอกของอัญชันมีลักษณะบาง น้ำจึงสามารถระเหยออกมาได้เร็ว

การทำแห้งที่สภาวะที่ต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า แบบจำลอง ของเพจ สามารถอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการทำแห้งของตะไคร้ และใบเตยดีที่สุด และแบบจำลองของลอกการิทึมิกอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการทำแห้งของดอกอัญชันดีที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 สูงสุด ค่า X^2 และ RMSE ต่ำสุด

บทที่ 5
ผลของการทำแห้งต่อไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของชาสมุนไพร

บทนำ

ชาสมุนไพร เป็นทางเลือกหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับผู้ที่รักและใส่ใจในสุขภาพ สมุนไพรไทยหลายชนิดมีกลิ่นรสที่ดี และมีสรรพคุณที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรพร้อมชง เพื่อจำหน่ายอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและเพื่อการส่งออก สามารถดำเนินการได้โดยกลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME$_s$) เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปง่าย ใช้เงินลงทุนไม่สูงนัก และสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับพืชสมุนไพรไทยได้มาก การผลิตชาสมุนไพรคุณภาพสูงเพื่อให้ได้คุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค ต้องดำเนินการอย่างครบวงจร ตั้งแต่การคัดเลือกคุณภาพวัตถุดิบ การล้าง การอบแห้ง การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง รวมไปถึงการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ มีคุณภาพดีภายในอายุการเก็บที่กำหนด

อายุการเก็บของสมุนไพร มีผลร่วมกันจากคุณภาพของสมุนไพรหลังการทำแห้ง และจากบรรจุภัณฑ์ที่เลือกใช้ บรรจุภัณฑ์มีทำหน้าที่คุ้มครองผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรที่อยู่ภายใน มีผลอย่างยิ่งต่ออายุการเก็บรักษา ป้องกันการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ ที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ เช่น จากเชื้อรา โดยเฉพาะเชื้อราที่สร้างสารพิษ (mycotoxin) ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ลดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น การออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) รวมทั้งการเปลี่ยนสี กลิ่นรส และการเสื่อมคุณภาพของสารที่มีสรรพคุณเป็นยาของพืชสมุนไพร บรรจุภัณฑ์ชาที่ใช้วัสดุที่ดี ออกแบบสวยงามยังเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดี รวมทั้งช่วยเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ได้มาก

ชาสมุนไพร เป็นอาหารแห้ง อายุการเก็บรักษาของชาสมุนไพร นิยมประเมินจากไอโซเทอมการดูดน้ำ (water sorption isotherm) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้ง (moisture content, dry basis) กับความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ซึ่งเป็นความชื้นที่อยู่ในผลิตผลขณะที่มีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบ ๆ ผลิตภัณฑ์นั้น ค่าความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และชนิดของผลิตภัณฑ์ (ธีระพล, 2545) วิธีการหาไอโซเทอมการดูดน้ำ ได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลายคือวิธีสถิต (Jamali, et.al., 2005; Machhour, H. et.al., 2011) แบบจำลองสำหรับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุล กับ วอเตอร์แอกติวิตี้และอุณหภูมิ ได้ถูกพัฒนาขึ้นจำนวนมาก (Arslan, 2005) แต่ยังไม่พบการรายงาน ไอโซเทอมการดูดน้ำของชาสมุนไพรเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการประเมินอายุการเก็บรักษาอาหาร เพราะสามารถนำมาใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงการดูดน้ำจากสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาและมีผลต่ออายุการเก็บรักษา (Machhour, et.al, 2011) และยังใช้เพื่อการออกแบบหรือคัดเลือกกระบวนการอบแห้งและคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้ตามที่ต้องการ

วัตถุประสงค์

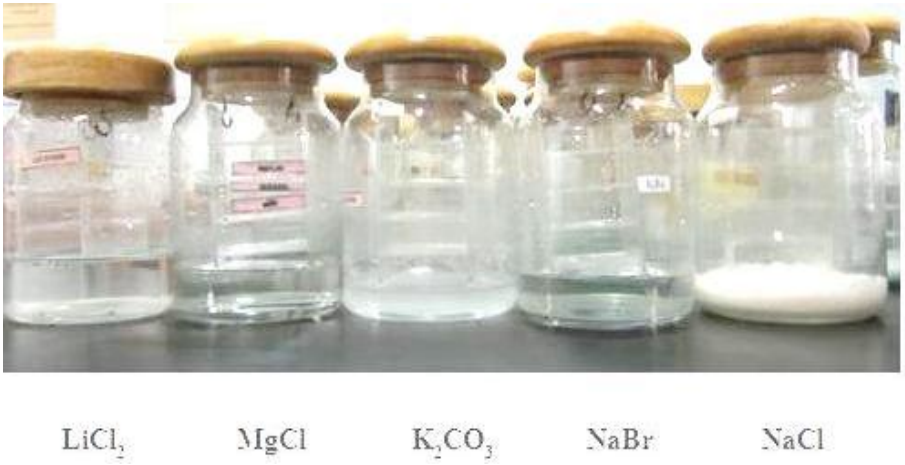
1. เพื่อศึกษาผลของการทำแห้งสมุนไพร ได้แก่ ตะไคร้ และใบเตย ที่สภาวะต่าง ๆ ต่อไอโซเทอมการดูดซับความชื้น และสร้างแบบจำลองการดูดน้ำกลับของสมุนไพรแต่ละชนิด

2. เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประเมินอายุการเก็บรักษาชาสมุนไพร ในการทำแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

5.1 วิธีการทดลอง

5.1.1 การหาไอโซเทอมการดูดซับความชื้น

ใช้ตัวอย่างสมุนไพรอบแห้งโดยชั่งตัวอย่างด้วยเครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Yamato, HB-120, ประเทศญี่ปุ่น) น้ำหนักประมาณของตัวอย่างสมุนไพรแห้งใช้ ตะไคร้ 1 กรัม ใบเตย 0.2 กรัม และอัญชัน 0.2 จดบันทึกน้ำหนักแน่นอน บรรจุตัวอย่างลงในถ้วยอลูมิเนียมฟอยด์วางบนชั้นภายในโหลแก้วเหนือ ปิดฝาให้สนิท ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผลทุก ๆ 2 วัน จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สารละลายเกลืออิ่มตัว

5.1.2 การหาสมการที่เหมาะสมเพื่ออธิบายการดูดซับความชื้นของสมุนไพร

นำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Guggenheim-Anderson-DeBoer (GAB), Smith, Halsey, Oswin และ Caurie ดังตารางที่ 2.3

ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสมการทั้ง 5 สมการ เลือกสมการและหาค่าคงที่ของสมการ**โดยการประเมินค่า** R-Square **โดยค่า** R^2 **ต้องมีค่ามาก ค่า** RSS **และ**SEE โดยทั้ง 2 ค่านี้ต้องมีค่าน้อย เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารระหว่างการเก็บที่สภาวะต่าง ๆ และสร้างไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของสมุนไพรที่เหมาะสม

5.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากความสัมพันธ์ระหว่างวอเตอร์แอกติวิตี้ และค่า % dry basis โดยความสามารถในการดูดความชื้น (adsorption) ของอาหารที่อยู่ภายใต้โหลที่บรรจุสารละลายความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่ำจะมีสมดุลของความชื้น (moisture content) ต่ำตามไปด้วยเนื่องจากความสามารถในการรับไอน้ำของสารละลายที่มีค่ามาก ในทางกลับกันหากสารละลายมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลสูง จะส่งผลต่อสมดุลความชื้นของอาหารและสารละลายเช่นกัน ทำให้ค่าความชื้นสูง

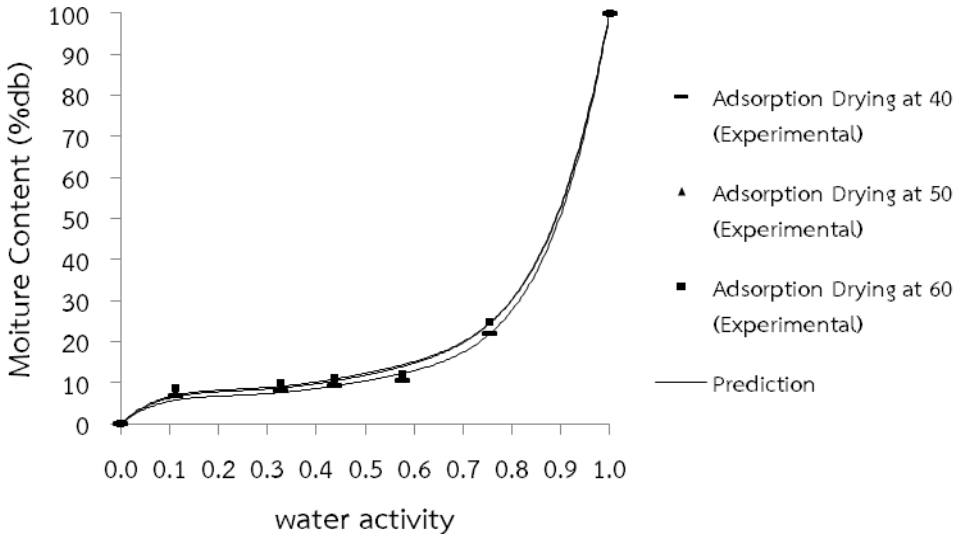
โดยผลการทดลองไอโซเทอมการดูดซับความชื้น เปรียบเทียบกับสมการการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และเลือกสมการต้นแบบที่เหมาะสมกับข้อมูล เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารระหว่างการเก็บที่สภาวะต่าง ๆ สรุปได้ว่า การดูดความชื้นของตะไคร้และใบเตย ที่การทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับแบบจำลองของ GAB ซึ่งมีค่าทางสถิติของแบบจำลองดัง ตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 กราฟการดูดซับความชื้นของตะไคร้และใบเตย ตามลำดับ พบว่า ตะไคร้และใบเตยจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถการดูดน้ำกลับเข้าไปภายในเซลล์ได้มากที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่วนความสามารถในการดูดน้ำกลับที่น้อยที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทำแห้งใช้ระยะเวลานาน ทำให้โครงสร้างภายในเซลล์ถูกทำลาย

โดยค่าความคลาดเคลื่อน อาจเกิดขึ้นอันเนื่องจากโหลที่บรรจุสารละลายเกลือถูกใช้งานมาอย่างต่อเนื่องโดยไม่ได้รับการปรับแก้ค่าความชื้นและอัตราส่วนของสารละลายเกลือให้ถูกต้อง ซึ่งอาจทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ของสารละลายคลาดเคลื่อน ส่งผลให้ความชื้นที่สภาวะสมดุลเกิดความผิดพลาด และความสามารถในการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีความใกล้เคียงกันจึงเลือกการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาใช้ในการทำแห้งแบบ 2 สภาวะ เพราะใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่าแต่ให้ผลของการดูดความชื้นใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.1 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตะไคร้

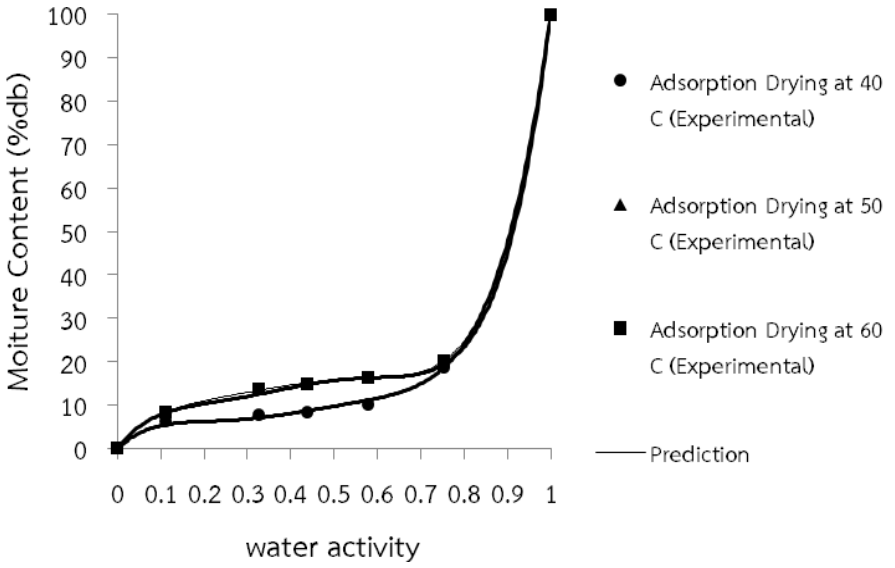
Model	Mathmatical Expression						R-Square	RSS	SEE
	k	A	B	C	a	b			
Water Adsorption 40 C									
GAB	5.8271	1.0094	6.04E+09	-	-	-	**0.9347**	**35.8101**	**1.1309**
Smith	-	3.6140	11.6700	-	-	-	0.8626	62.1958	1.4904
Halsey	-	-1.38E+07	5.54E+05	1.3871	-	-	0.9078	41.7703	1.2214
Oswin	-	-	-	-	11.4915	0.5182	0.8488	68.4764	1.5638
Caurie	-	-	-	-	1.2635	2.3375	0.8702	58.7674	1.4487
Water Adsorption 50 C									
GAB	6.1586	0.9915	7.21E+09	-	-	-	**0.9413**	**30.7968**	**1.0488**
Smith	-	4.5235	12.6248	-	-	-	0.8336	91.2544	1.8053
Halsey	-	-5.09E+06	2.03E+05	1.4425	-	-	0.8794	66.1122	1.5366
Oswin	-	-	-	-	13.1161	0.4925	0.8125	102.8484	1.9165
Caurie	-	-	-	-	1.4495	2.2290	0.8337	91.1977	1.8047
Water Adsorption 60 C									
GAB	7.2249	0.9382	1.32E+10	-	-	-	**0.9244**	**35.6678**	**1.1286**
Smith	-	4.9429	12.4646	-	-	-	0.8498	78.7492	1.6770
Halsey	-	2.76E+07	-1.10E+06	1.5121	-	-	0.8887	58.3818	1.4440
Oswin	-	-	-	-	13.5227	0.4669	0.8203	94.2312	1.8345
Caurie	-	-	-	-	1.5322	2.1237	0.8453	81.1414	1.7023



รูปที่ 5.2 ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของตะไคร้อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 5.2 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของใบเตย

Model	Mathmatical Expression						R-Square	RSS	SEE
	k	A	B	C	a	b			
Water Adsorption 40 C									
GAB	4.8783	0.9796	2.29E+10	-	-	-	**0.9497**	**15.6789**	**0.7483**
Smith	-	3.7005	9.8128	-	-	-	0.8866	35.3106	1.1230
Halsey	-	1.25E+07	-5.02E+05	1.5277	-	-	0.9156	26.2924	0.9690
Oswin	-	-	-	-	10.4961	0.4647	0.8629	42.7021	1.2349
Caurie	-	-	-	-	1.2811	2.1178	0.8847	35.9070	1.1324
Water Adsorption 50 C									
GAB	12.7729	0.5038	6.44E+02	-	-	-	**0.9762**	**5.1188**	**0.4276**
Smith	-	9.0352	8.4092	-	-	-	0.8819	27.1714	0.9851
Halsey	-	-1.35E+06	5.39E+04	2.7813	-	-	0.9012	22.7289	0.9010
Oswin	-	-	-	-	15.3850	0.2500	0.9367	14.5700	0.7214
Caurie	-	-	-	-	2.1442	1.1587	0.9070	21.3944	0.8741
Water Adsorption 60 C									
GAB	13.0439	0.5073	6.70E+02	-	-	-	**0.9479**	**11.9786**	**0.6541**
Smith	-	9.0352	8.4092	-	-	-	0.8819	27.1714	0.9851
Halsey	-	-1.35E+06	5.39E+04	2.7813	-	-	0.9012	22.7289	0.9010
Oswin	-	-	-	-	15.3850	0.2500	0.9367	14.5700	0.7214
Caurie	-	-	-	-	2.1442	1.1587	0.9070	21.3944	0.8741



รูปที่ 5.3 ไอโซเทอมการดูดความซับความชื้นของใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

5.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองไอโซเทอมการดูดซับความชื้น พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถดูดน้ำกลับเข้าไปในโครงสร้างได้มากที่สุด โดยสมการที่ใช้อธิบายการดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสของตะไคร้คือ แบบจำลองของแกบ โดยมีค่า R^2= 0.9244 และมีค่าวิเคราะห์ทางสถิติ RSS= 35.6678 SEE= 1.1286 ซึ่งค่า % dry basis ที่วอเตอร์แอกติวิตี้ =0.7 คือ 19.18 สมการที่ใช้อธิบายการดูดความชื้นของใบเตยคือ แบบจำลองของแกบ โดยมีค่า R^2= 0.9479 และ มีค่าวิเคราะห์ทางสถิติ RSS= 11.9786 SEE= 0.6541 ซึ่งค่า % dry basis ที่ วอเตอร์แอกติวิตี้ =0.7 คือ 17.81 แสดงถึงความสามารถในการดูดน้ำกลับของตะไคร้ สูงกว่าใบเตยซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของใบเตยที่มีลักษณะบางกว่าตะไคร้ ทำให้ลมร้อนสามารถทำลายส่วนประกอบ และโครงสร้างภายในได้ง่ายกว่า ตะไคร้ที่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ ซ้อนกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าโครงสร้างทางกายภาพซับซ้อนกว่าใบเตยทำให้ลมร้อนทำลายโครงสร้างภายในได้ยาก

บทที่ 6
การทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น

บทนำ

การทำแห้งแบบหลายขั้นตอนโดยการการทำแห้งสมุนแห้งสมุนไพร ด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น เป็นวิธีการทำแห้งแบบ 2 ขั้นตอนที่ประยุกต์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลองศึกษาผลการทำแห้งของสมุนไพรโดยวัตถุประสงค์หลักเพื่อสามารถทำแห้งสมุนไพรได้เป็นอย่างดี และให้สมุนไพรนั้นคงคุณค่าทางโภชนาการ

การทำแห้งแบบหลายขั้นตอน การลดความชื้นของข้าวเปลือกแบบหลายขั้นตอนโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวกลางในการดูดซับ โดยความชื้นเริ่มต้นของแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 11% โดยน้ำหนัก (พรรณี และคณะ, 2549) และการใช้แกลบเป็นตัวกลางดูดซับ โดยความชื้นเริ่มต้นของแกลบเท่ากับ 10% โดยน้ำหนัก (กิติพร และคณะ, 2549) ซึ่งให้ผลตรงกันคือ ความสามารถในการดูดซับไอน้ำดีขึ้น ช่วยลดระยะเวลาในการทำแห้ง และรักษาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความขาว อัตราการแตกหักของข้าว เป็นต้น

การใช้ซิลิกาเจล (silica gel) เป็นตัวกลางในการดูดซับความชื้น ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ในรูปแบบซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถัน มีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีรูพรุน ทำให้มีพื้นผิวในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมากประมาณ 800 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม หรือประมาณ 40% ของน้ำหนักตัวเอง มีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส และมีความชื้นต่ำกว่า 3% โดยน้ำหนัก (Xin, et.al., 2007)

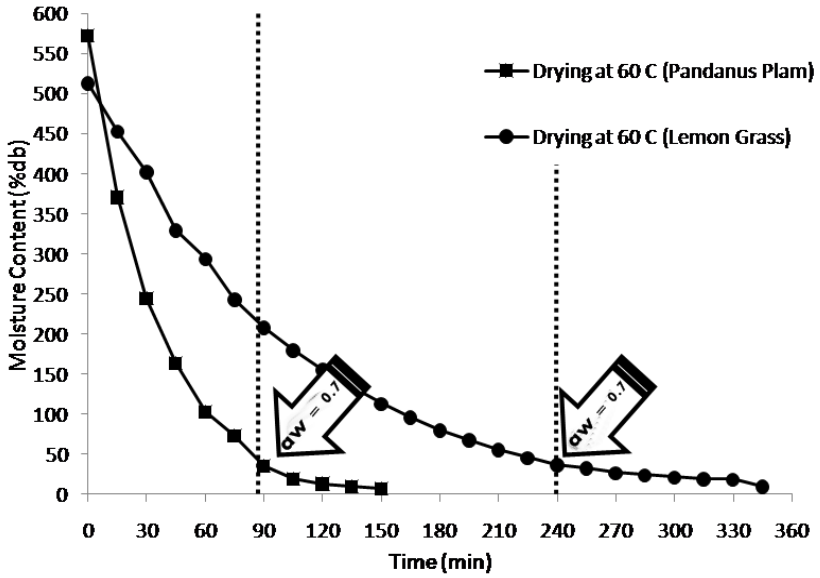
วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งชาสมุนไพรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประกอบกับการใช้สารดูดความชื้น และความสามารถในการดูดน้ำกลับของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง

6.1 วิธีการทดลอง

วิเคราะห์การดูดน้ำกลับของสมุนไพร ร่วมกับอัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อเลือกเวลาที่จะนำถาดวัตถุดิบสมุนไพรออกจากการทำแห้งด้วยลมร้อน แล้วมาใส่ตู้ดูดความชื้น โดยพิจารณาเลือกค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ 0.7 ดังรูปที่ 6.1 เป็นกราฟความชื้นกับเวลาของตะไคร้และใบเตยโดยค่า ที่อ่านได้ในแกน x เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดรา

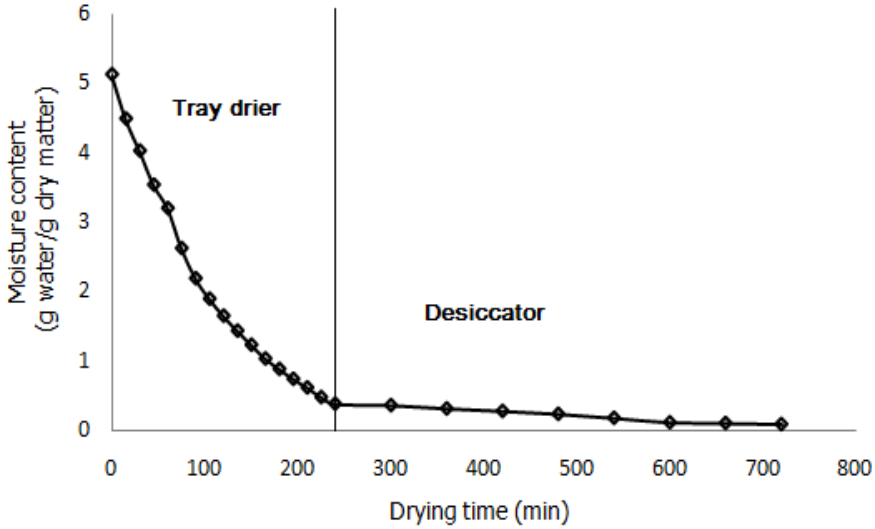
เมื่อครบเวลาจากการทำแห้งด้วยลมร้อนในช่วงแรก ให้นำตะแกรงที่บรรจุวัตถุดิบใส่ในตู้ดูดความชื้น ซึ่งเป็นสภาวะปิด ที่บรรจุสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (silica gel) อยู่ภายในตู้ โดยวางถาดบนชั้นวาง จากนั้นนำถาดวัตถุดิบออกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง โดยตะไคร้ชั่งทุก ๆ 60 นาที และใบเตยชั่งทุก ๆ 30 นาที ชั่งจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ซ้ำกัน 2 ค่า



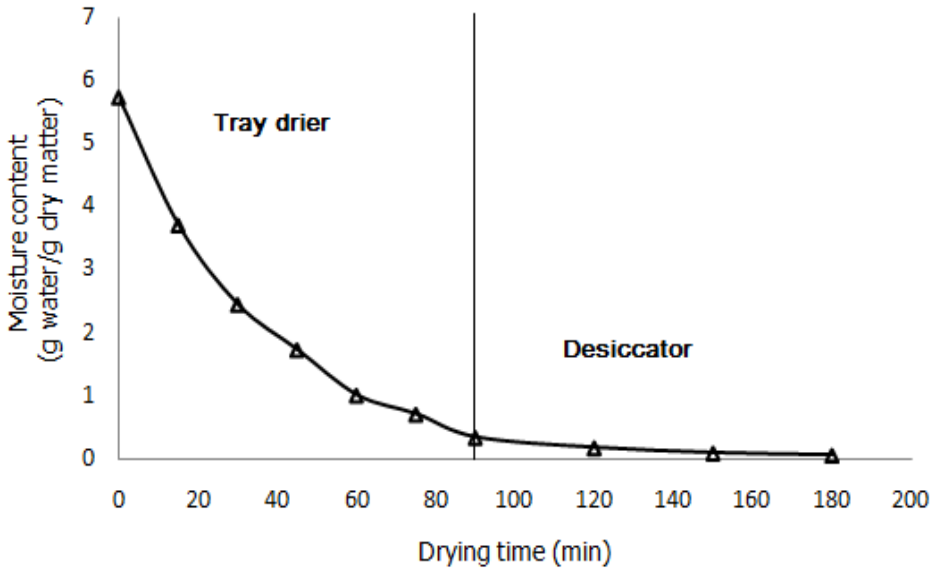
รูปที่ 6.1 กราฟความชื้นกับเวลาของตะไคร้และใบเตย

6.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองดังรูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 ช่วงแรกเป็นการทำแห้งด้วยลมร้อน ตะไคร้ใช้เวลาในการทำแห้งช่วงนี้นาน 240 นาที ใบเตยใช้เวลา 90 นาที ในการทำแห้งช่วงที่ 2 ตะไคร้และใบเตยใช้เวลา 480 และ 90 นาที ตามลำดับ รวมทั้งสิ้นตะไคร้ใช้เวลาในการทำแห้ง 720 นาที ได้ความชื้น 9.3817 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง ใบเตย 180 นาที ได้ความชื้น 5.4599 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง พบว่า การทำแห้งด้วยลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นนี้ใช้เวลานานกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 6.2 กราฟความชื้นกับเวลาจากการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้นของตะไคร้



รูปที่ 6.3 กราฟความชื้นกับเวลาจากการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้นของใบเตย

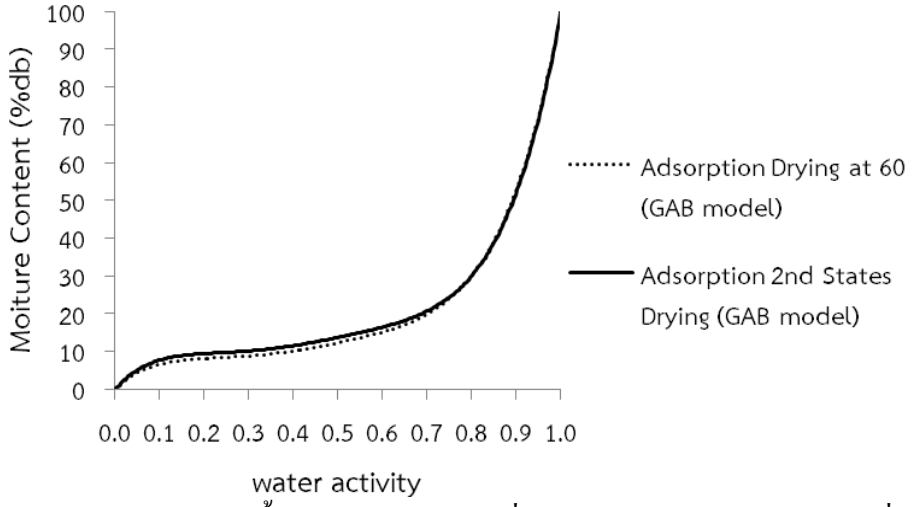
จากการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นไปวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดน้ำกลับ พบว่า ความสามารถในการดูดน้ำกลับของการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นเพิ่มขึ้นจากการทำแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด แสดงในกราฟไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของตะไคร้และใบเตย ดังรูปที่ 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นนั้น ใช้ความร้อนในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้โครงสร้างภายในของสมุนไพรไม่ถูกทำลายมาก ซึ่งจะสามารถคงสาระสำคัญในสมุนไพรไว้ได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 6.1 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตะไคร้

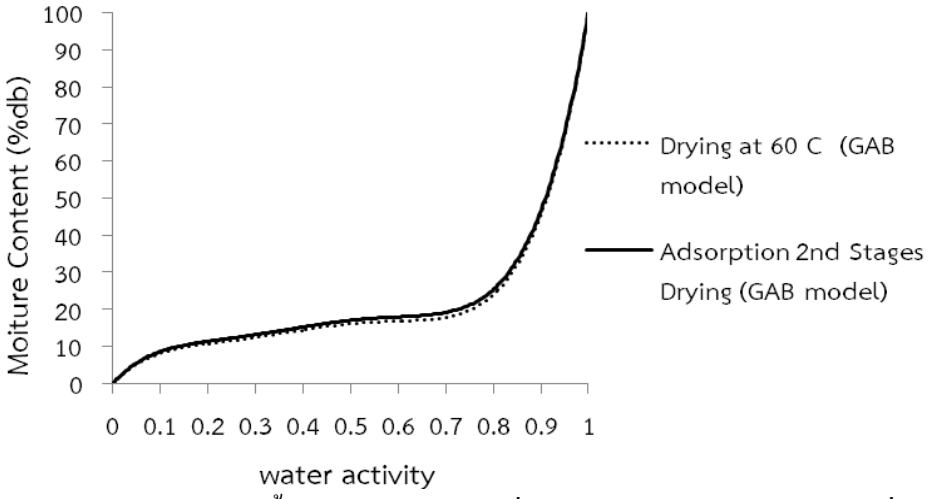
Model	Mathmatical Expression						R-Square	RSS	SEE
	k	A	B	C	a	b			
Water Adsorption (Drying at 60 C)									
GAB	7.2249	0.9382	1.32E+10	-	-	-	**0.9244**	**35.6678**	**1.1286**
Smith	-	4.9429	12.4646	-	-	-	0.8498	78.7492	1.6770
Halsey	-	2.76E+07	-1.10E+06	1.5121	-	-	0.8887	58.3818	1.4440
Oswin	-	-	-	-	13.5227	0.4669	0.8203	94.2312	1.8345
Caurie	-	-	-	-	1.5322	2.1237	0.8453	81.1414	1.7023
Water Adsorption (2nd States Drying)									
GAB	6.1586	0.9915	7.21E+09	-	-	-	**0.9413**	**30.7968**	**1.0488**
Smith	-	4.9429	12.4646	-	-	-	0.8498	78.7492	1.6770
Halsey	-	2.76E+07	-1.10E+06	1.5121	-	-	0.8887	58.3818	1.4440
Oswin	-	-	-	-	13.5227	0.4669	0.8203	94.2312	1.8345
Caurie	-	-	-	-	1.5322	2.1237	0.8453	81.1414	1.7023

ตารางที่ 6.2 ค่าทางสถิติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของใบเตย

Model	Mathmatical Expression						R-Square	RSS	SEE
	k	A	B	C	a	b			
Water Adsorption (Drying at 60 C)									
GAB	13.0439	0.5073	6.70E+02	-	-	-	**0.9479**	**11.9786**	**0.6541**
Smith	-	9.0352	8.4092	-	-	-	0.8819	27.1714	0.9851
Halsey	-	-1.35E+06	5.39E+04	2.7813	-	-	0.9012	22.7289	0.9010
Oswin	-	-	-	-	15.3850	0.2500	0.9367	14.5700	0.7214
Caurie	-	-	-	-	2.1442	1.1587	0.9070	21.3944	0.8741
Water Adsorption (2nd States Drying)									
GAB	13.5242	0.5299	6.74E+02	-	-	-	**0.9455**	**14.5565**	**0.7210**
Smith	-	9.4853	9.0976	-	-	-	0.8889	29.6584	1.0292
Halsey	-	-2.65E+06	1.06E+05	2.7413	-	-	0.9033	25.8313	0.9605
Oswin	-	-	-	-	16.3436	0.2543	0.9373	16.7493	0.7734
Caurie	-	-	-	-	2.1931	1.1818	0.9175	22.0345	0.8871



รูปที่ 6.4 ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของตะไคร้อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดซับความชื้น



รูปที่ 6.5 ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นของใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดซับความชื้น

6.3 สรุปผลการทดลอง

การทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานกว่าทำแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยในการทำแห้งช่วงที่ 2 ใช้สารซิลิกาเจลดูดความชื้นตะไคร้และใบเตยในตู้ดูดความชื้นใช้เวลา 480 และ 90 นาที ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับความชื้นพบว่า การทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น สามารถดูดน้ำกลับได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว แสดงถึงโครงสร้างภายในเซลล์ถูกทำลายน้อยกว่า ซึ่งส่งผลดีที่จะทำให้ชาสมุนไพรยังคงคุณค่าทางได้เป็นอย่างดี

บทที่ 7

การประเมินอายุการเก็บรักษา

บทนำ

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ ตั้งแต่เริ่มผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาอาหาร สามารถแบ่งแยกได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงส่วนนี้มักมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการจัดการกับอาหาร ในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต และการขนส่ง ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ การช้ำของผัก ผลไม้ การแตกหักของของผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพร หรือการจับตัวกันเป็นก้อนของชาสมุนไพร

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งขั้นตอนการผลิต และการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยาเคมีส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของอาหาร ที่มีปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาเป็นส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในอาหาร ได้แก่ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ (Enzymatic reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) โดยตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร (Browning reaction) การสูญเสียกลิ่นของอาหารที่มีสารหอมระเหย

3. การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ต้องอาศัยปัจจัยที่เพียงพอประกอบด้วย จึงจะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ เช่น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ในผลิตภัณฑ์อาหาร ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลหรือเกลือ (Osmotic concentration) ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา เป็นต้น ลักษณะตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์ ได้แก่ การบูดเน่าของผลิตภัณฑ์อาหาร การเกิดเชื้อราของชาสมุนไพร เป็นต้น

7.1 วิธีการทดลอง

เลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการสร้างกราฟไอโซเทอมดูดความชื้นที่เหมาะสำหรับตะไคร้และใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น นำค่าที่ได้จากกราฟมาใช้ในสมการการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยทำนายอายุของตัวอย่างตะไคร้และใบเตยอบแห้งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท โดยใช้สมการที่ 2.3 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ทำนายผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท จากนั้นคำนวณอายุการเก็บรักษาตะไคร้และใบเตยอบแห้งใบซองปิดสนิท โดยกำหนดชนิด Oriented Polypropylene /Metalized Oriented Polypropylene (OPP/MOPP) ขนาด 0.06 x 0.075 เมตร^2 บรรจุ 2 กรัม/ซอง เก็บรักษาที่สภาวะ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

7.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทำนายอายุการเก็บตะไคร้และใบเตยอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene/Metalized Oriented Polypropylene (OPP/MOPP) ที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น พบว่า ตะไคร้และใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด ดังตารางที่ 7.1 และที่ 7.2 ตามลำดับ เนื่องมาจากการอบแห้งร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นมีอัตราส่วนของช่วงความชื้นของผลิตภัณฑ์ถึงความชื้นสมดุลต่อช่วงความชื้นสมดุลถึงความชื้นวิกฤต มีค่ามากกว่าทำให้มีช่วงเวลาในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านบรรจุภัณฑ์นานกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิอื่น ๆ

ตารางที่ 7.1 อายุการเก็บของตะไคร้อบแห้งในบรรจุภัณฑ์ จากการทำนายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และค่าที่ใช้ในสมการ

สภาวะการทำแห้ง	อายุ (day)	A (m^2)	X (m)	K (g H2O.m/day.m^2.mmHg)	Mi %db	Mc %db.	Me %db
40°C	12.51	0.009	0.002165	0.0000267	0.1185	0.125	0.2
50°C	86.78	0.009	0.002165	0.0000267	0.112	0.155	0.218
60°C	79.96	0.009	0.002165	0.0000267	0.0875	0.16	0.219
2nd stages 60 °C	103.47	0.009	0.002165	0.0000267	0.0858	0.187	0.245

ตารางที่ 7.2 อายุการเก็บของใบเตยอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ จากการทำนายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และค่าที่ใช้ในสมการ

สภาวะการทำแห้ง	อายุ (day)	A (m^2)	X (m)	K g H2O.m/day.m^2.mmHg	Mi %db	Mc %db.	Me %db
40°C	48.03	0.009	0.002165	0.0000267	0.0516	0.11	0.187
50°C	147.40	0.009	0.002165	0.0000267	0.0578	0.17	0.19
60°C	116.63	0.009	0.002165	0.0000267	0.0679	0.17	0.198
2nd stages 60 °C	179.05	0.009	0.002165	0.0000267	0.054599	0.185	0.205

7.3 สรุปผลการทดลอง

การทำนายอายุการเก็บของตะไคร้และใบเตยอบแห้งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน พบว่าตะไคร้และใบเตยที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นมีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าที่อบที่อุณหภูมิอื่น คือ 103.47 และ 179.05 วัน ตามลำดับ เนื่องมาจากความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้และใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น มีความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์หลังจากอบแห้งแล้วน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่น จึงทำให้มีระยะเวลาในการเก็บนานกว่า

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

การล้างและการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูป จากผลการทดลองพบว่า สารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 150 ppm สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขมิ้นชันและใบเตยได้ 3.37 $\log_{10}$CFU/g (99.96%) 2.69 $\log_{10}$CFU/g (99.80%) จากปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น 6.45 $\log_{10}$ CFU/g 7.41 $\log_{10}$ CFU/g ตามลำดับ และ สามารถลดปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดได้ 2.01 $\log_{10}$ CFU/g (99.02%) 3.01 $\log_{10}$ CFU/g (99.90%) จากปริมาณโคลิฟอร์มเริ่มต้น 3.79 $\log_{10}$ CFU/g 4.79 $\log_{10}$ CFU/g ตามลำดับ ดอกอัญชันใช้ความเข้มข้น 50 ppm ไม่พบปริมาณจุลินทรีย์และโคลิฟอร์มทั้งหมด (มีปริมาณน้อยกว่า 10 $\log_{10}$ CFU/g)

จากการทดลองทำแห้งสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ตะไคร้ ใบเตย และดอกอัญชัน พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง ทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งได้อย่างรวดเร็ว โดยตะไคร้ใช้เวลาในการทำแห้งนาน ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นกาบ เรียงซ้อนกันซ้ำ ๆ ทำให้น้ำระเหยออกมาได้ยากกว่า จึงใช้ระยะเวลานานในการทำแห้ง ส่วนใบเตยและดอกอัญชันใช้เวลาในการทำแห้งที่สั้นกว่า เนื่องจากกาบใบของใบเตยและกลีบดอกของอัญชันมีลักษณะบาง น้ำจึงสามารถระเหยออกมาได้เร็ว

การทำแห้งที่สภาวะที่ต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า แบบจำลองของเพจ สามารถอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการทำแห้งของตะไคร้ และใบเตยดีที่สุด แบบจำลองของลอกการิทึมิก สามารถอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการทำแห้งของดอกอัญชันดีที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 สูงสุด ค่า RSS และ SEE ต่ำสุด

จากผลการทดลองไอโซเทอมการดูดซับความชื้น พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถดูดน้ำกลับเข้าไปในโครงสร้างได้มากที่สุด โดยสมการที่ใช้อธิบายการดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสของตะไคร้คือ แบบจำลองของแกบ โดยมีค่า R^2= 0.9244 และมีค่าวิเคราะห์ทางสถิติ RSS= 35.6678 SEE= 1.1286 ซึ่งค่า % dry basis ที่วอเตอร์แอกติวิตี้ =0.7 คือ 19.18 สมการที่ใช้อธิบายการดูดความชื้นของใบเตยคือ แบบจำลองของแกบ โดยมีค่า R^2= 0.9479 และ มีค่าวิเคราะห์ทางสถิติ RSS= 11.9786 SEE= 0.6541 ซึ่งค่า % dry basis ที่ วอเตอร์แอกติวิตี้ =0.7 คือ 17.81 แสดงถึงความสามารถในการดูดน้ำกลับของตะไคร้ สูงกว่าใบเตยซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของใบเตยที่มีลักษณะบางกว่าตะไคร้ ทำให้ลมร้อนสามารถทำลายส่วนประกอบ และโครงสร้างภายในได้ง่ายกว่า ตะไคร้ที่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ ซ้อนกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าโครงสร้างทางกายภาพซับซ้อนกว่าใบเตยทำให้ลมร้อนทำลายโครงสร้างภายในได้ยาก

การทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานกว่าทำแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยในการทำแห้งช่วงที่ 2 ใช้สารซิลิกาเจลดูดความชื้นตะไคร้และใบเตยในตู้ดูดความชื้นใช้เวลา 480 และ 90 นาที ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับความชื้น

พบว่า การทำแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น สามารถดูดน้ำกลับได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว แสดงถึงโครงสร้างภายในเซลล์ถูกทำลายน้อยกว่า ซึ่งส่งผลดีที่จะทำให้ชาสมุนไพรยังคงคุณค่าทางได้เป็นอย่างดี

การทำนายอายุการเก็บของตะไคร้และใบเตยอบแห้งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน พบว่าตะไคร้และใบเตยที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นมีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าที่อบที่อุณหภูมิอื่น คือ 103.47 และ 179.05 วัน ตามลำดับ เนื่องมาจากความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้และใบเตยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับการใช้สารดูดความชื้น มีความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์หลังจากอบแห้งแล้วน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่น จึงทำให้มีระยะเวลาในการเก็บนานกว่า

เอกสารอ้างอิง

กฤติยา เลี่ยวชวลิต, เสริมสิริ วิจัยวรกิจ, ฆรณี ตุ้ยเต็มวงศ์ และ ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์. 2546. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการล้างผักด้วยสารไตรโซเดียมฟอสเฟตคลอรีนและการใช้โอโซน. สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, REF Q101 ก58.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2547. เอกสารกระบวนวิชา 359705 POSTHAR PHYSIOL HORT CR. ภาควิชาพืชสวน (Horticulture) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ธีระพล ศิลกุล. 2545. "การหาสมการความชื้นสมดุลของถั่วเขียว." วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 33(6) : 305-309

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

ประสิทธิ์ คลังบุญครอง.2554. **คุณค่า ขมิ้นชัน สมุนไพรไทย ช่วยยับยั้งป้องกันมะเร็ง.**[Online]. Available : http://sahavicha.kalasin3.go.th/.

ปรีชา จึงสมานุกูล, นวรัตน์ รัตนดิลก ณ ภูเก็ต และกมลวรรณ กันแต่ง. 2553. การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ในผักสด. สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 52 (1-2) : 30-39.

ภควรรณ เสมอใจ และกนกอร โพธินันท์. 2551. “จลนพลศาสตร์และการลดเวลาในการอบแห้งกลีบกุหลาบด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดโดยใช้ดราฟท์ทิว และอนุภาคเฉื่อย.” หน้า 354-363. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** ครั้งที่ 48. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**.**

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2549. เอกสารการสอนชุดวิชาเคมีและจุลชีววิทยาของอาหาร. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.

รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล. 2537. **สมุนไพรรักษาโรคเรื้อรังบางชนิด.** กรุงเทพมหานคร : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

วราภา มหากาญจนกุล และ ณัฐวุฒิ มาสกรานต์. 2547. **“การลดปริมาณ Listeriamonocytogenes ปนเปื้อนบนผักด้วยสารละลายคลอรีนไดออกไซด์.”** [Online].Available : http://www.news.cedis.or.th.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วัฒนา ดำรงรัตน์กุล และอนุวัตร แจ้งชัด. 2549. "แบบจำลองของการดูดซับความชื้นและการอบแห้งของผัก แผ่นปรุงรส." หน้า534-540. **ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44**. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร.

สมภพ ประธานธุรารักษ์ และ พร้อมจิต ศรลัมพ์. 2552. **สมุนไพร การพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ที่ยั่งยืน**. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ. สามลดา.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2554. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. [Online]. Available : http://app.tisi.go.th/otop/otop.html.

Afzal, M. and Abe, T. 1996. “Modeling far infrared drying of rough rice.” **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, 1997(2) : 80-86

Akpinar, E.K., Bicer, Y. and Yildiz, C. 2003. “Thin layer drying of red pepper.” **Journal of Food Engineering**, 2003(59) : 99-104.

Ahmed, J., Shivhare, U.S. and Singh, G. 2001. “Drying Characteristics and Product Quality of Coriander Leaves.” **Chemical Engineers Trans IChemE**. 2001(79) : 103-106.

Arslan, N. and Togrul, H. 2005. “The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity.” **Journal of Stored Products Research**. 2006(4) : 112-135.

Aviara, N.A., Ajibola, O.O., Aregbesola, O.A., Adedeji, M.A. 2005.“Moisture sorption isotherms of sorghum malt at 40 and 50 °C.” **Journal of Stored Products Research**. 2006(42) : 290-301.

Aviara, N.A., Ajabola, O.O. and Oni, S.A. 2004. Sorption Equilibrium and Thermodynamic Characteristics of Soya Bean. **Biosystems Engineering**. 87(2) : 179-190.

Barrozo, M.A.S., Silva, A.A.M. and Oliveira D.T. 2007. “The use of curvature and bias measures to discriminate among equilibrium moisture equations for mustard seed.”**Journal of Stored Products Research**. 2008(44) : 65-70.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Behrsing, J., Winkler, S., Franz, P. and Premier, R. 2000. "Efficacy of chlorine for inactivation of Escherichia coli on Vegetable**." Postharvest Biology and Technology.** 2000(19) : 187- 192.

Bobic´ Z, Bauman I andUric´ D. 2001. "Rehydration ratio of fluid bed-dried vegetables." **Sadhana.** 27(3) : 365-374.

Phoungchandang, S. and Saentaweesuk, S. 2010."Effect oftwo stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger." **Elsevier B.V.** 2010(171) **:** 1-9.

Caurie, M., 1970. "A new model equation for predicting safe storage moisture levels for optimum stability of dehydrated foods." **Journal of Food Technology.** 5:301–307.

Chaovanalikit, A., Apichayaluk, S., Kongtong, S. and Chuprathum, S. 2009. **"**Effect of pH and Temperature on the Stability and Visual Color of Roselle and Butterfly Pea Extracts" **Agricultural Sci. J**. 40(3) : 5-8.

Chaovanalikit, A., Jaroenvong, S. and Cha-aim, C. 2009. "Effect of Pasteurization and pH on Anthocyanin Content and Shelf-life of Butterfly Pea Juice." **Agricultural Sci. J**. 40(1) : 433-436.

CHEWONARIN, T. et.al. 1998. "Effects of Roselle (Hibiscus sabdariffa Linn.), a Thai Medicinal Plant,the Mutagenicity of Various Known Mutagens in Salmonella typhimurium and on Formation of Aberrant Crypt Foci Induced by the Colon Carcinogens Azoxymethane and 2-Amino-1-methyl-6 phenylimidazo[4,5-b]pyridine in F344 Rats." **Food and Chemical Toxicology.**37(1999) : 591-601.

CHii, C.L., Law, C.L. and Cloke, M. 2008. "Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa." **Journal of Food Engineering.** 90(2009) : 191-198.

Cousins, M., Adelberg, J., Chen, F. and Rieck, J. 2006. "Antioxidant capacity of fresh and dried rhizomes from four clones of turmeric (*Curcuma longa* L.) grown in vitro." **Industrial Crops and Products.** 2007(25) : 129-135.

Codex Alimentarius Commission. 2003. RECOMMENDED INTERNATIONAL CODE OF PRACTICE GENERAL PRINCIPLES OF FOOD HYGIENE. [Online]. Available : www.mhlw.go.jp/.../importedfoods/guideline/dl/04.pdf.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Cousins, M. et.al. 2006. "Antioxidant capacity of fresh and dried rhizomes from four clones of turmeric (*Curcuma longa L.*)grown in vitro." **Industrial Crops and Products** 25 : 129-135.

De Temmerman, et.al. 2008. "Drying model for cylindrical pasta shapes using desorption isotherms." **Journal of Food Engineering**. 2008(86) : 414-421.

Doymaz, I. 2003. " Thin-layer drying behaviour of mint leaves."**Journal of Food Engineering.** 2002(74) : 370-375.

Doymaz, I. 2003. "Convective air drying characteristics of thin layer carrots." **Journal of Food Engineering.** 2004(61) : 359-364.

Ertekin and Sultanoglu. 2000. "Moisture sorption isotherm characteristics of peppers." **Journal of Food Engineering** . 2001(47) : 225-231.

Fatihanim, M.N.et.al. 2008. "Antioxidative properties of Pandanus amaryllifolius leaf extracts in accelerated oxidation and deep frying studies." **Food Chemistry.** 110 : 319 -327.

Fatouma, A.L. et.al. 2010. "Antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and methanol extract of *Jasminum sambac* from Djibouti."**African Journal of Plant Science**. 4(3) : 038-043.

Francis, G.A. and O'Beirne, D. 2002. "Effects of vegetable type and antimicrobial dipping on survival and growth of Listeria innocua and E. coli." **International Journal of Food Science and Technology**. 2002(37) : 711-718.

Garcia, A., Mount, J.R. and Davidson, P.M. 2003. "Ozone and Chlorine Treatment of Minimally Processed Lettuce." **Journal of Food Science**. -Vol. 68, Nr. 9.

Ghodake, H.M., Goswami ,T.K. and Chakraverty A. 2006. "Moisture sorption isotherms heatnof sorption and vaporization of withered leaves, black and green tea." **Journalof Food Engineering**. 2007(78) : 827-835

Gibbons, J.H., editor. 1979. **Open Shelf-Life Dating of Food. Washington**. : U.S. Government Printing Office.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Gilani, A.H., Shah, A.J., Ghayur, M.N. and Majeed K. 2004. "Pharmacological basis for the use of turmeric in gastrointestinal and respiratory disorders." **Life Sciences.** 2005(76) : 3089-3105.

Halsey, G. (1948). "Physical adsorption in non-uniform surfaces." **Journal of Chemical Physics**. 16: 931–937.

Jamali, A., Kouhila, M., Mohamed, L.A., Idlimam, A.and Lamharrar, A. 2005. "Moisture adsorption-desorption isotherms of Citrus reticulate leaves at three temperatures."**Journal of Food Engineering.** 2006(77) : 71-78.

Jaiswal, D. et.al. 2009. "Effect of *Moringa oleifera* Lam. leaves aqueous extract theraphy on hyperglycemic rats." **Journal of Ethnopharmacology.** 123(2009) : 392-396.

Katsukawa, M., Nakata, R., Takizawa, Y. and Hori, K. 2010. "Citral, a component of lemongrass oil activates PPAR aand g and suppresses COX-2 expression." **Biochimica et Biophysica Acta**. 1801(2010) : 1214-1220.

Kazuma, K., Noda, N. and Sazuki, M. 2002. "Malonylated flavonol glycosides from the petals of Clitoria ternatea." **Phytochemistry.** 2003(62) : 229-237.

Kim, I.S. et.al. 2010. "The antioxidant activity and the bioactive compound content of Stevia rebaudiana water extracts." **LWT - Food Science and Technology.** 2011(44) : 1328-1332.

Liu, Q., Bakker-Arkema, F.W., 1996. "Stochastic modelling of grain drying: Part 2.Modeld Development." **Journal of Agricultural Engineering Research.** 1997(66) : 275-280.

Ma, L. and Shi, Y. 2010. "Effects of potassium fertilizer on physiological and biochemical index of Stevia rebaudiana Bertoni." **Energy Procedia.** 2011(5) : 581-586.

Machhour, H., Idlimam, A., Mahrouz, M., Hadrami, I.E. and Kouhila, M. 2011. "Sorption isotherms and thermodynamic properties of peppermint tea (*Mentha piperita*) after thermal and biochemical treatment." **J.Mater.Environ.Sci**. 2012(2) : 232-247.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Mehta, L.K. et.al. 2003. "Effect of fruits of *Moringa oleifera* on the lipid profile of normal and hypercholesterolaemic rabbits." **Journal of Ethnopharmacology.** 2003(86) : 191-195.

Midilli, A., Kucuk, H., and Yapar, Z. 2002. "A new model for single- layer drying." **Drying Technology**. 20(7) : 1503-1513.

Mobasheri, A. 2011. **"Curry spice could offer treatment hope for tendinitis**." [Online].Available : http://www.nottingham.ac.uk.

Montatip.2553. **ใบเตยหอม.**[Online].Available : http://fic.ifrpd.ku.ac.th/.

Mukherjee, P.K., Kumar, V., Kumar, N.S. and Heinrich, M. 2008. "The Ayurvedic edicine Clitoria ternatea-From traditional use to scientific assessment." m**Journal of Ethnopharmacology**. 2008(120) : 291-301.

National Advisory Committee on Microbiological Criterial for Foods (NACMCF). 1999. "Microbiological safety evaluations and recommendations on fresh produce." **Food Control 10** : 117-143.

Nor, F.M.. Mohamed, S., Idris, N.A., Ismail, R. 2008. "Antioxidative properties of Pandanus amaryllifolius leaf extracts in accelerated oxidation and deep frying studies." **Food Chemistry**. 2008(110) : 319-327.

Nurhan, A. and Hasan T., 2005, "The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity." **Journal of Stored Products Research**. 2006(42) : 112-135.

Ojeda, D. et.al. 2009. "Inhibition of angiotensin convertin enzyme (ACE) activity by the anthocyanins delphinidin - and cyanidin-3-O-sambubiosides from Hibiscus sabdariffa."**Journal of Ethnopharmacology.** 2010(127) : 7-10.

Oonsivilai, R. et.al. 2007. "Phytochemical profiling and phase II enzyme-inducing properties of *Thunbergia laurifolia* Lindl. (RC) extracts."**Journal of Ethnophar macology.** 2007(114) : 300-306.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Oswin, C.R., 1946. “The kinetics of package life III. The isotherm.” **Journal of Chemical Industry.** 65 : 419–421.

Oyelade, O.J., Tunde-Akintunde, T.Y. , Igbeka, J.C.,Oke, M.O. and Raji O.Y. 2007. “Modelling moisture sorption isotherms for maize flour.” **Journal of Stored Products Research**. 2008(44) : 179–185.

Pagano, A.M. and Mascheroni, R.H. 2004.“Sorption isotherms for amaranth grains.” **Journal of Food Engineering** . 2005(67) : 441-450.

Peungvicha, P., Temsiririrkkul, R., Prasain J.K., Tezuka Y., Kadota, S., Thirawarapan, S.S. and Watanabe H. 1998. "4-Hydroxybenzoic acid: a hypoglycemic constituent of aqueousextrac of Pandanus odorus root." **Journal of Ethnopharmacology.** 1998(68) : 70-84.

Rockland, L.B. and Beuchat, L.R. 1986. Water Activity : Theory and Application to Food. New York : Marcel Dekker. 404 p.

Sharma, G.P. and Prasad, S. (2000). “Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination.” **Journal of Food Engineering**, 2001(50). 99-105.

Shih, C.C. et.al. 2009. “*Momordica charantia* extract on insulin resistance and the skeleta muscle GLUT4 protein in fructose-fed rats.” **Journal of Ethnopharmacology.** 2009(123) : 82-90.

Singh, N., Singh, R. K., Bhunia, A. K. and Stroshine, R. L. 2002“Efficacy of Chlorine Dioxide, Ozone, and Thyme Essential Oil or a Sequential Washing in Killing Escherichia coli O157:H7 on Lettuce and Baby Carrots.” 2002.(35) : 720-729.

Smith, S.E. 1947. “The sorption of water vapour by high polymers.” **Journal of the American Chemical Society.** 69 : 646.

Swami, Das S.K. and Maiti, B. 2004. “Moisture sorption isotherms of black gram nuggets (*bori*) at varied temperatures.”**Journal of Food Engineering**. 2005(67) : 477-482.

Togrul, I.T. and Pehlivan, D. 2002. “Mathematical modeling of soar drying of apricots in thin layers.” Journal of Food Engineering. 2002(55) : 209-216.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Tzortzakis, N.G. and Economakis, C.D. 2007. “Antifungal activity of lemongrass (*Cympopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens.” **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 2007(8) : 253–258.

Van den Berg, C., Bruin, S., 1981. “Water activity and its estimation in food systems : theoretical aspects. Influences on Food Quality. Academic Press, New York. : 1–61.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัวผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

ชื่อ-สกุล นางพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

เพศ ☐ ชาย ☑ หญิง วันเดือนปีเกิด 19 ตุลาคม 2508 อายุ 47 ปี

สถานภาพ ☐ โสด ☑ สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2533
วท.ม.	พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2539
Doctor of Philosophy	Food Science	University Florida, USA	2542

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

Thermal processing of Food

Design, implementation and testing of computer program in the area of Food Engineering

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2540	การประกวดสิ่งประดิษฐ์คิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสาขาเครื่องจักรกลเกษตรและสิ่งแวดล้อม	กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมร่วมกับมูลนิธิธนาคารกรุงเทพ

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2550	การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำพริกแกงแดงบรรจุกระป๋องและเพาช์คุณภาพสูง	ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

2551	การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมระบบการนึ่งปลาทูน่า เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับ บ.ฟู้ด แมชชีนเนอรี่ จำกัด
2552-2554	การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการละลายและการนึ่งปลาทูน่าเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับ บ.ฟู้ด แมชชีนเนอรี่ จำกัด

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

- **Ponchaloeampong, P**., Narkrugsa, W., O.BalAban M., Prinyawiwatkul, W. 2005. Effect of Processing Conditions on Yield and Color of Albacore Tuna. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering.
- **Ponchaloeampong, P**., Narkrugsa, W., O.BalAban M., Prinyawiwatkul, W. 2005. Effect of Processing Conditions on Yield and Color of Albacore Tuna. Journal Food and Beverage Asia
- Pornchaloempong, P., Balaban, M. O., Chau, K.V. 2001. Thermal Processing Optimization of Quality Retention in a Conical Shape. In: "Proceedings of the 8th International Congress on Engineering and Food". J. Welti-Chanes, G.V. Barbosa-Canovas and J.M. Aguilera, Eds. Technomic Publishing Co., Lancaster, PA. p: 676-681.
- Pornchaloempong, P., Balaban, M. O., Chau, K.V. 2001. Simulation of Conduction Heating in Conical Shapes. In : "Proceedings of the 8th International Congress on Engineering and Food". J. Welti-Chanes, G.V. Barbosa-Canovas and J.M. Aguilera, Eds. Technomic Publishing Co., Lancaster, PA. p: 671-675.
- Pornchaloempong, P., Narkrugsa, W., Chrdareekit K., Piyaaphantawong K., and Peerajit S. 2002. Proceeding of the International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering.
- Porchaloempong, P., Balaban, M.O., Chau, K.V., and Teixeira, A.A. 2003. Optimization of quality retention in conduction-heating foods of conical shape. Journal of food process engineering. Vol25 (6) 557-570,.

- **Porchaloempong, P.,** Balaban, M.O**.,** Chau, K.V., and Teixeira, A.A. 2003. Numerical simulation of conduction heaing in conically shaped bodies. Journal of food process engineering. Vol25 (6),539-555.
- ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** และ สาทิป รัตนภาสกร 2537 , สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ สำนักพิมพ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 121 หน้า
- **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** นาขวัญ สายเสน บงกชธรรม พบหิรัญโสภณ และ วารีรัตน์ ทรงคำ 2544 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นในอุตสาหกรรมอาหาร วารสารอาหาร ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 หน้า 85 – 93.
- สาทิป รัตนภาสกร และ **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** 2545. การออกแบบและพัฒนาเครื่องนวดพริกไทย วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 หน้า 9-13
- **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** ดำเกิง โตประเสริฐพงศ์ วนินทร วิโรจน์วรานุรักษ์ อรนุช พันธ์ไม้สี และ วันชัย สุทธินุ่น 2545 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาเวลาในการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง วิศวกรรมสารลาดกระบัง ปีที่ 19 ฉบับที่ 2
- มธุรดา จิโนรส **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** และ นวภัทรา พิธิยากูล 2545 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณภาระห้องเย็นสำหรับเก็บผักผลไม้ในประเทศไทย วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 33, หน้า 149 - 147 ฉบับที่ 4 – 5 กรกฎาคม – ตุลาคม 2545
- Sirisomboon, P., Boonmung, S., **Pornchaloempong P**., and Pithuncharurnlap, M. A Preliminary Study on Classification of Mango Maturity by Compression Test. International Journal of Food Properties, 11: 206-212 (2008)
- P. Sirisomboon**, P. Pornchaloempong**. Instrumental textural properties of mango (cv Nam Doc mai) at commercial harvesting time. International Journal of Food Properties, 14, 441-449 (2011).

การเสนอผลงานวิชาการ

- ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดี และ**พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** 2545 เครื่องคัดแยกถั่วเหลืองฝักสด การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ประจำปี 2545 วันที่ 23-24 พฤษภาคม 2545 จังหวัดเชียงใหม่
- ณิชา ฉัตรชมชื่น ธนา ศิริรัตนสุวรรณ **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** เอกสิทธิ์ ศรีธรรม โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการทดสอบความแตกต่าง การประชุมวิชาการนวัตกรรมทางวิศวกรรมเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิต สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ครั้งที่ 5 ประจำปี 2547 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ, หน้า 397-403, 26-27 เมษายน 2547.

- ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** และธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์ สมบัติทางกายภาพของถั่วเหลืองฝักสด การประชุมวิชาการนวัตกรรมทางวิศวกรรมเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิต สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5 ประจำปี 2547 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ, หน้า 360-367, 26-27 เมษายน 2547.
- Sirisomboonl, P., **Ponchaloeampong, P**., Romphophak, T., 2005. Physical properties Of Green Soybean : Criteria For Sorting. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering.
- Chomchai, K., **Ponchaloeampong, P**., Chalidabhongse, T. 2005. Computer-Assited Sensory Evaluation for Food Industry. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering.
- กาญจนา เหล่าศรีวิจิตร จิรภา สีมะเสถียรโสภณ วรางคณา ณ พัทลุง **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** และ เอกสิทธิ์ ศรีธรรม. 2548. จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างการลวกของแครอท 2 สายพันธุ์. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5 วันที่ 26-27 เมษายน 2548 โรงแรมเวลคัมจอมเทียนบีชพัทยา ชลบุรี.
- จิราภา วิทยาภิรักษ์ และ **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** 2548. พจนานุกรมวิศวกรรมอาหาร (อังกฤษ-ไทย). การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548 ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ.
- นวรัตน์ วงษ์สมัย นันทนีย์ ถนอมเลิศชัย สุริยะ เปียอยู่ **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** และ เอกสิทธิ์ ศรีธรรม. 2548. ผลของสารให้ความคงตัวต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีและคุณภาพของไอศกรีมกะทิ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548 ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ.
- กนกวรรณ บัวจันทร์ กฤษชัย ถนอมสุข ณัฏฐาพร จิระกิจกุล **พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์** และ เอกสิทธิ์ ศรีธรรม. 2548. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548 ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ.

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

แบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการละลายและการนึ่งปลาทูน่า สิทธิบัตรเลขที่

ประวัติส่วนตัวรองศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร

ชื่อ-สกุล นาย สาทิป รัตนภาสกร

เพศ ☑ ชาย ☐ หญิง วันเดือนปีเกิด 8 ตุลาคม 2498 อายุ 57 ปี

สถานภาพ ☐ โสด ☑ สมรส

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2545
MS.	Agri. Eng in Crop Processing	The University of the Philippines Los Banos	2531

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

Crop processing

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2539	การประกวดสิ่งประดิษฐ์คิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเครื่องจักรกลเกษตร เรื่องเครื่องมือแปรรูปพริกไทยขาว	กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2544	การประกวดสิ่งประดิษฐ์คิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเครื่องจักรกลเกษตร เรื่องเครื่องปอกทุเรียนกึ่งอัตโนมัติ	กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2546	ทุนวิจัย เรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องผ่ามะพร้าวอ่อนกึ่งอัตโนมัติ	สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2548	ทุนวิจัย เรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องขัดสีพริกไทยดำแบบขัดสีบนแกนโลหะ	สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2550	ทุนวิจัย เรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องแยกเนื้อสำรองออกจากเมล็ด	สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2554	ทุนวิจัย เรื่องเครื่องกะเทาะเปลือกมะรุม	สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รางวัลผลงานวิจัย

- สาทิป รัตนภาสกร และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ “ชุดเครื่องมือแปรรูปพริกไทยขาว” ได้รับรางวัลที่ 3 การประกวดสิ่งประดิษฐ์คิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสาขาเครื่องจักรกลเกษตรและสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2540 จัดโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมร่วมกับมูลนิธิธนาคารกรุงเทพ.
- สาทิป รัตนภาสกร และ เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง “เครื่องปอกทุเรียนกึ่งอัตโนมัติ” ได้รับรางวัลชมเชยการประกวดสิ่งประดิษฐคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสาขาเครื่องจักรกลเกษตรและสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2544 จัดโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมร่วมกับมูลนิธิธนาคารกรุงเทพ.

การเสนอผลงานวิชาการ

- สาทิป รัตนภาสกร นวภัทรา หนูนาค และอำนาจ คูตะคุ “เครื่องกะเทาะเปลือกเมล็ดมะรุม” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตร ประจำปี 2555 ครั้งที่ 13 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่
- สาทิป รัตนภาสกร นวภัทรา หนูนาค และอำนาจ คูตะคุ “การศึกษาการกะเทาะเปลือกเมล็ดมะรุมโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตร ประจำปี 2554 ครั้งที่ 12 31มีนาคม-1เมษายน 2554 โรงแรมชลจันทร์พัทยา
- นวภัทรา หนูนาค สาทิป รัตนภาสกร และอำนาจ คูตะคุ “การออกแบบและพัฒนาเครื่องขจัดน้ำออกจากไขโป้วหลังกระบวนการล้าง” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตร ประจำปี 2554 ครั้งที่ 12 31 มีนาคม-1เมษายน 2554 โรงแรมชลจันทร์พัทยารีสอร์ท จังหวัดชลบุรีรีสอร์ท จังหวัดชลบุรี
- สาทิป รัตนภาสกร และสมัคร รักแม่ “การออกแบบและพัฒนาเครื่องแยกเนื้อสำรอง” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตร ประจำปี 2552 ครั้งที่ 10 1-3 เมษายน 2552 ณ สัมมนาคาร มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- สาทิป รัตนภาสกร และเกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง “การออกแบบและพัฒนาเครื่องผ่าผลมะพร้าวอ่อนแบบกึ่งอัตโนมัติ” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตร ประจำปี 2551 ครั้งที่ 9 31 มกราคม-1 กุมภาพันธ์ 2551 โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่
- Rattanapaskorn, S. and K. Roonprasang. “ Design and Development of Semi-automatic Cutting Machine for Young Coconut”. Maejo International Journal of Science andTechnology. 10 November 2008/(Special Issue),1-6. Available online at www.mijst.mju.ac.th.