



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดชาเขียว
ในระดับโรงงานต้นแบบ

Spray-drying optimization of pilot scale green tea extract

โดย

นายณัฐวุฒิ ดอนสาว
นายธีรพงษ์ เทพกรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดชาเขียวในระดับโรงงานต้นแบบ” ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความสนับสนุนด้านงบประมาณของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงในปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณส่วนบริการงานวิจัยมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงซึ่งเป็นผู้ประสานงานโครงการที่ดีมาโดยตลอด อีกทั้งสถาบันฯ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ นักวิทยาศาสตร์ Mrs. Sari Wahyuni และนักศึกษาทุก ๆ ท่าน ที่ได้สละเวลาช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ณัฐวุฒิ ดอนลาว

ธีรพงษ์ เทพกรณ์

15 เมษายน 2555



บทสรุปผู้บริหาร

ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกชาที่สำคัญโดยเฉพาะจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง แพร่ น่านและแม่ฮ่องสอน โดยพื้นที่ดอยแม่สลองจังหวัดเชียงรายมีพื้นที่การปลูกชา 4,500 กว่าไร่ จึงทำให้ชาเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดเชียงราย แต่พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตชาในเชียงรายยังมีไม่มากนัก ในปัจจุบันการบริโภคชาทำได้โดยนำใบชาแห้งมาลวกหรือต้มในน้ำร้อนเพื่อให้ได้เครื่องดื่มชา ในขณะที่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาผงขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการบริโภค ง่ายต่อการขนส่งและช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ชาผงสามารถใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพหรือใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร ประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหาร เช่น เป็นส่วนผสมของสบู่อ่างมือ แชมพูและยาสีฟัน เป็นต้น อีกทั้งผลิตภัณฑ์ชาผงสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ขนมขบเคี้ยว เครื่องดื่ม เครื่องสำอางและยา

การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เป็นเทคนิควิธีที่ใช้ในการผลิตอาหารผงจากอาหารเหลวด้วยการพ่นอาหารเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ เข้าไปในห้องอบที่มีอากาศร้อนหมุนเวียนอยู่ทำให้อาหารเหลวแห้งอย่างรวดเร็วได้เป็นอาหารผงแยกออกมา เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้เวลาในการทำแห้งค่อนข้างสั้นจึงสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังทำแห้ง เช่น สี กลิ่นรส และคุณค่าทางอาหารได้ในระดับหนึ่ง ทั้งนี้คุณภาพของอาหารผงแห้งที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการเสื่อมสลายทางเคมีและกายภาพในระหว่างกระบวนการทำแห้ง ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษามลของปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเขียวและอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวหลังทำแห้ง ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งสารสกัดจากชาเขียวและทราบสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยและในทางอุตสาหกรรมอาหารและยาต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ชาเขียวอู่หลงเบอร์ 12 เป็นตัวอย่างในการทดลองและใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JMC-miniLAB spray dryer (จากบริษัท Euro Best Technology, Ltd., ประเทศไทย) เป็นต้นแบบในการทดลอง

การทดลองเริ่มจากการบดตัวอย่างชาเขียวอู่หลงเบอร์ 12 โดยใช้เครื่องบดแบบค้อน จากนั้นขนาดที่ได้จะถูกนำไปสกัดด้วยน้ำที่ปรับพีเอชโดยใช้กรดซิตริกจนได้พีเอชเท่ากับ 5.0 และใช้อัตราส่วนของชาบด 1.0 กิโลกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร อุณหภูมิในการสกัด 90 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 60 นาที สารสกัดชาที่ได้มีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณร้อยละ 1 ถึง 2 ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดให้ได้เท่ากับร้อยละ 3, 6 และ 9 จึงต้องนำสารสกัดที่ได้ไปทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง โดยงานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า (Inlet air temperature) และปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเริ่มต้น (Total solid) ส่งผลต่อ

สมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียว ดังนั้นสารสกัดชาที่ผ่านการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดแล้ว (ร้อยละ 3, 6 และ 9) จะถูกนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สภาวะในการทำแห้งคือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิอากาศร้อนขาออกเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วของพัดลมดูดอากาศเท่ากับ 2,500 รอบต่อนาที จากนั้นผลิตภัณฑ์ผงสารสกัดจากชาเขียวที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพต่อไป

จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดชาเขียว อุณหภูมิ 12 คือการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 220 องศาเซลเซียสและใช้สารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 9 ซึ่งจะทำให้ได้ผงสารสกัดชาเขียวที่มีความหนาแน่นรวม (bulk density) ต่ำ มีความสามารถในการละลาย (solubility) สูง มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ระดับปานกลาง มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) สูง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) สูง อีกทั้งยังใช้เวลาในการทำแห้งสั้นเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำสูงซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานในการทำแห้ง แต่ทั้งนี้การใช้สารสกัดชาที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ก็จะมีการสูญเสียในระหว่างกระบวนการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งทำให้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้น้อย ดังนั้นหากปรับปรุงกระบวนการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นหรือหาวิธีการทำให้เข้มข้นที่เหมาะสมและเป็นไปได้ในระดับอุตสาหกรรมก็จะช่วยเพิ่มร้อยละผลผลิตที่ได้ให้สูงขึ้น

จากผลการวิจัยพบว่าผงสารสกัดจากชาเขียวมีศักยภาพที่จะผลิตในระดับอุตสาหกรรมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา หรือประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหารได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นที่จะศึกษา วิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงสารสกัดชาเขียว อาทิ การศึกษาการเติมสารตัวพาชนิดต่างๆ ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียว การศึกษาปรับปรุงกระบวนการทำให้เข้มข้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนชาเข้าและปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเขียวที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย นำใบชาเขียวแห้ง (*Camellia sinensis* var. Oolong No. 12) มาบดด้วยเครื่องบดแบบค้อนที่ประกอบกับตะแกรงขนาดช่องเปิดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร จากนั้นนำใบชาบดไปสกัดด้วยน้ำที่ผ่านการปรับพีเอช (ใช้กรดซิตริกในการปรับจนได้พีเอชเท่ากับ 5.0) และอัตราส่วนของชาบด 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ใช้อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 60 นาที จากนั้นสารสกัดชาที่ได้จะนำไปทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งจนได้สารสกัดชาที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3, 6 และ 9 จากนั้นนำสารสกัดชาเข้มข้นไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สภาวะในการทำแห้งคือ อุณหภูมิอากาศร้อนชาเข้า 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนชาออกเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วของพัดลมดูดอากาศเท่ากับ 2,500 รอบต่อนาที ผงสารสกัดจากชาเขียวที่ได้จะถูกเก็บในขวดแก้วปิดสนิท จากนั้นนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพจากการทดลองพบว่าผงสารสกัดชาเขียวมีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 0.3933 ถึง 0.5014 g/cm³ ความสามารถในการละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 75.56 ถึง 91.17 ความสามารถในการดูดซับน้ำร้อยละ 8.84 ถึง 17.84 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.33 ถึง 3.77 (ฐานเปียก) ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 27.27 ถึง 30.55 w/w (ฐานแห้ง) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงสารสกัดชาเขียว เท่ากับ 218.805 ถึง 247.768 $\mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ (ฐานแห้ง) ปริมาณสารคาเทชินทั้งหมดอยู่ในช่วง 19.28 ถึง 23.23 g/100 g (ฐานแห้ง) และปริมาณสารคาเฟอีนอยู่ในช่วง 4.96 ถึง 5.64 g/100 g (ฐานแห้ง) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนชาเข้าส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นรวม ความสามารถในการดูดซับน้ำ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนชาเข้าส่งผลในลักษณะผันผวนต่อค่าสี (L, a และ b) และค่าความชื้น เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการละลาย ค่าสี (L, a และ b) ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดส่งผลในลักษณะผันผวนต่อค่าความหนาแน่นรวม ความสามารถในการดูดซับน้ำ ปริมาณความชื้น และปริมาณสารคาเทชิน ทั้งนี้สภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิ 12 คือใช้อุณหภูมิอากาศร้อนชาเข้าเท่ากับ 220 องศาเซลเซียสและใช้สารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 9 ซึ่งจะทำให้ได้ผงสารสกัดชาเขียวที่มีความหนาแน่นรวม (bulk density) ต่ำ มีความสามารถในการละลาย (solubility) สูง มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ระดับปานกลาง มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) สูง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) สูง

Abstract

This research was carried out with the objective of studying the effect of inlet air temperature and total solid content of feeding tea extract on physical and chemical properties green tea extract powder. This study was also made to optimize the spray-drying condition of green tea extract. The dried tea leaves (*Camellia sinensis* var. Oolong No.12) were ground using a hammer mill equipped with a 5 mm sieve. Twenty liters of acidified water (pH=5.0) were heated until the temperature reached 90°C. A ground tea leaves (1.0 kg) was placed into the hot water for 60 minutes in order to obtain tea extract. The extract was then concentrated by freeze concentration unit until a total solid content of 3%, 6% and 9% (w/w) attained. The concentrated tea extracts were fed to a spray dryer. The pilot scale spray dryer was operated at the inlet air temperature of 180°C, 200°C and 220°C. The outlet air temperature was controlled at 75°C and the speed of exhaust fans was set at 2,500 rpm. The powder was collected in a glass jar connected to a cyclone and then assayed for physical and chemical properties. The results shown that bulk density ranged from 0.3933-0.5014 g/cm³, solubility varied between 75.56-91.17%, hygroscopicity ranged from 8.84-17.84%, moisture content ranged from 2.33-3.77% (w.b.). Total phenolic content was in the range of 27.27-30.55% (d.b.) and antioxidant activity (DPPH assay) varied between 218.805-247.768 µmol Trolox/100 g (d.b.). The value of total catechins content and caffeine content were 19.28-23.23 g/100 g (d.b.) and 4.96-5.64 g/100 g (d.b.) respectively. Results indicated that increasing in inlet air temperature caused decreasing in bulk density, hygroscopicity, total phenolic content and antioxidant capacity; resulted in variation of color (L, a and b) and moisture content. The values of solubility, color (L, a and b) and antioxidant activity increased with an increase in total solid content of feeding tea extract. An increased feed concentration resulted in the variation of bulk density, hygroscopicity, moisture content and catechins content. It can be concluded from the result that the optimum condition for spray drying Oolong green tea extract was 220°C of inlet air temperature and 9% total solid content of feeding tea extract. This condition provided the green tea powder with the lowest bulk density, high solubility, medium hygroscopicity, high total phenolic content and high antioxidant activity.

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
บทที่ 2	แนวคิดทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 ชา	6
	2.2 องค์ประกอบทางเคมีของชา	6
	2.3 ประโยชน์ของชา	12
	2.4 สารสกัดจากชา	12
	2.5 อาหารผงแห้ง	13
	2.6 การทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง	14
	2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	15
บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย	
	3.1 วัสดุและอุปกรณ์	20
	3.2 การבודตัวอย่างชาเขียวอุณหภูมิลบ 12	21
	3.3 การเตรียมสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบ 12	22
	3.4 การศึกษาสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ผงสารสกัดชาเขียว	27
บทที่ 4	ผลการวิจัย	
	4.1 องค์ประกอบทางเคมีของชาเขียวอุณหภูมิลบ 12	32
	4.2 การเตรียมสารสกัดจากชาเขียว	33
	4.3 ผลของกระบวนการที่มีต่อสมบัติทางเคมีของสารสกัดชาเขียว	34
	4.4 ผลของสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบ	40
	4.5 ร้อยละผลผลิตที่ได้ ปริมาณการระเหย พลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง	54
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	56

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2-1	อนุกรมวิธานของชา	6
ตารางที่ 2-2	องค์ประกอบทางเคมีของ ชาเขียว ชาดำ และสารสกัดชา	8
ตารางที่ 2-3	ปริมาณสารโพลีฟีนอล (กรัม ต่อ 100 กรัม) ในแต่ละฤดูกาล และในแต่ละสายพันธุ์	9
ตารางที่ 2-4	กรดอะมิโนอิสระที่พบในสารสกัดชาเขียว	10
ตารางที่ 3-1	หน่วยการทดลอง (Treatment of the experiment)	26
ตารางที่ 4-1	องค์ประกอบทางเคมีของชาเขียวอุณหภูมิลดลง 12	32
ตารางที่ 4-2	สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบชาเขียวและสารสกัดชาเขียวหลังผ่าน ขั้นตอนการสกัด การทำให้เข้มข้น และการทำแห้งแบบพ่นฝอย	35
ตารางที่ 4-3	สมบัติทางกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลดลง	41
ตารางที่ 4-4	สมบัติทางเคมีของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลดลง	48
ตารางที่ 4-5	ปริมาณสารคาเทชินแต่ละชนิดและปริมาณสารคาเฟอีนของผง สารสกัดชาเขียว	53
ตารางที่ 4-6	ร้อยละผลผลิตที่ได้ ปริมาณการระเหยน้ำ และพลังงานที่ใช้ใน การทำแห้งของการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากชา เขียวที่สภาวะต่างๆ	54

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1-1	ต้นชาจีน (<i>Camellia sinensis</i>)	1
ภาพที่ 1-2	ชาเขียวอุ๋หลง	2
ภาพที่ 1-3	ไร่ชาบนดอยวาวี อ.แม่สรวย จ.เชียงราย	2
ภาพที่ 1-4	โครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มคาเทชินที่พบในชา	3
ภาพที่ 2-1	กระบวนการผลิตชา (A) ชาขาว (B) ชาเขียว (C) ชาอุ๋หลง (D) ชาดำ	7
ภาพที่ 2-2	โครงสร้างทางเคมีของสารคาเฟอีน	9
ภาพที่ 2-3	กระบวนการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง	14
ภาพที่ 2-4	หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	15
ภาพที่ 3-1	เครื่องบดแบบค้อน (Hammer mill)	21
ภาพที่ 3-2	ตะแกรงประกอบเครื่องบดที่มีขนาดช่องเปิด 5 มิลลิเมตร	21
ภาพที่ 3-3	(ก) การปรับพีเอชของน้ำให้เท่ากับ 5 โดยใช้กรดซิตริก (ใช้ pH-meter ในการตรวจวัด) (ข) การต้มน้ำจนได้อุณหภูมิเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส (ใช้ thermo couple ในการตรวจวัด)	22
ภาพที่ 3-4	(ก) การเติมชาที่ผ่านการบดแล้วลงในน้ำที่ปรับพีเอชและปรับอุณหภูมิแล้ว (ข) การกรองสารสกัดที่ได้โดยใช้ผ้าขาวบาง	22
ภาพที่ 3-5	(ก) กากชาที่เหลือหลังจากการกรอง (ข) สารสกัดชาเขียวอุ๋หลง เบอร์ 12	23
ภาพที่ 3-6	เกร็ดน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายในเครื่องสร้างเกร็ดน้ำแข็ง ICE STARS	23
ภาพที่ 3-7	การแยกสารสกัดเข้มข้นออกจากน้ำแข็ง	24
ภาพที่ 3-8	การปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารสกัดเข้มข้นที่ติดอยู่กับน้ำแข็ง	24
ภาพที่ 3-9	ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดชาเขียวเข้มข้น	25
ภาพที่ 3-10	เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JCM MINILAB Spray dryer	26
ภาพที่ 3-11	ขั้นตอนในการทำแห้งแบบพ่นฝอย	27
ภาพที่ 4-1	(ก) ชาเขียวอุ๋หลงเบอร์ 12 (<i>Camellia sinensis</i> var. Oolong No.12) (ข) ชาเขียวอุ๋หลงเบอร์ 12 ที่ผ่านการบดแล้ว	32

		หน้า
ภาพที่ 4-2	ความสัมพันธ์ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดกับค่าองค์ประกอบ	33
ภาพที่ 4-3	ร้อยละผลผลิตที่ได้ของสารสกัดชาเขียวเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งที่ระดับร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่างๆ	34
ภาพที่ 4-4	ปริมาณสารโพลีฟีนอลในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม	36
ภาพที่ 4-5	ปริมาณสารคาเทชินในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม	37
ภาพที่ 4-6	ปริมาณสารคาเฟอีนในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม	38
ภาพที่ 4-7	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูปของ Trolox equivalent ในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม	39
ภาพที่ 4-8	ผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JCM MINILAB Spray dryer	40
ภาพที่ 4-9	ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	42
ภาพที่ 4-10	(ก) ค่า L (ข) ค่า a (ค) ค่า b ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	45
ภาพที่ 4-11	ความสามารถในการละลาย (solubility) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	46
ภาพที่ 4-12	ความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	47
ภาพที่ 4-13	ปริมาณความชื้น (ฐานเปียก) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	49
ภาพที่ 4-14	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	50

		หน้า
ภาพที่ 4-15	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ในรูปของ Trolox equivalent ของผงสารสกัดชาเขียวอุหลงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	51
ภาพที่ 4-16	(ก) ปริมาณคาเทชินทั้งหมด (total catechins content) และ (ข) ปริมาณคาเฟอีน (caffeine content) ของผงสารสกัดชาเขียวอุหลงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	52
ภาพที่ 4-17	ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (recovery yield) ของผงสารสกัดชาเขียวอุหลงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ	55



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ชาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาใบของต้นชา (*Camellia sinensis*) (รูปที่ 1.1) มาผ่านกระบวนการผลิตและทำให้แห้ง นอกจากนี้ยังมีชาอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่าชาสมุนไพรซึ่งได้จากการผสมของดอกไม้และสมุนไพรต่างๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไม่ถือว่าเป็นชาที่แท้จริง ชาเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมไม่น้อยกว่า 1,000 ปี แต่ผู้บริโภคเพิ่งทราบถึงคุณประโยชน์จากการดื่มน้ำชาเป็นประจำเมื่อ 50 ปีที่ผ่านมา จากสถิติขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (2008) พบว่าปริมาณการผลิตและการบริโภคชาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่ปริมาณการผลิตชาทั่วโลกในปี 2008 สูงถึง 3.60 ล้านตันและปริมาณการบริโภคชาทั่วโลกสูงถึง 3.64 ล้านตัน ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาปริมาณการบริโภคชาเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.7 ต่อปี

ต้นชาสามารถแบ่งออกเป็นสายพันธุ์หลัก 3 สายพันธุ์คือ ชาจีนซึ่งมีลักษณะใบแคบเล็กโดยปกติจะขึ้นในพื้นที่สูง ชาอินเดียหรือชาอัสสัมซึ่งลักษณะใบจะมีขนาดใหญ่กว่าชาจีนและสามารถขึ้นในพื้นที่ต่ำกว่า และสุดท้ายคือชาเขมรหรือพันธุ์ผสมระหว่างชาจีนและชาอัสสัม



ภาพที่ 1-1 ต้นชาจีน (*Camellia sinensis*)

ในส่วนของผู้ผลิตชาหากจำแนกชนิดของผู้ผลิตชาตามกระบวนการผลิตพบว่าสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทหลักคือ ชาขาวเป็นยอดชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักเช่นเดียวกัน ชาอูหลงเป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักเพียงบางส่วน และชาดำคือชาที่ผ่านกระบวนการหมักอย่างสมบูรณ์ ใบชาสดจะถูกเก็บมาและผ่านกรรมวิธีที่แตกต่างกันเพื่อให้ผู้ผลิตแต่ละชนิดดังที่กล่าวมาข้างต้น จากข้อมูลปริมาณการบริโภคชาทั่วโลกพบว่า ชาดำร้อยละ 78 ชาเขียวร้อยละ 20 และชาอูหลงร้อยละ 2 ในชาเขียวมีสารจำพวกโพลีฟีนอลที่เรียกว่า “คาเทชิน” ปริมาณค่อนข้างสูงอีกทั้งเป็นทราบกันดีว่าสารโพลีฟีนอลในชา มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ในการป้องกันการก่อกลายพันธุ์ (Yang และคณะ, 2007)



ภาพที่ 1-2 ชาเขียวอูหลง

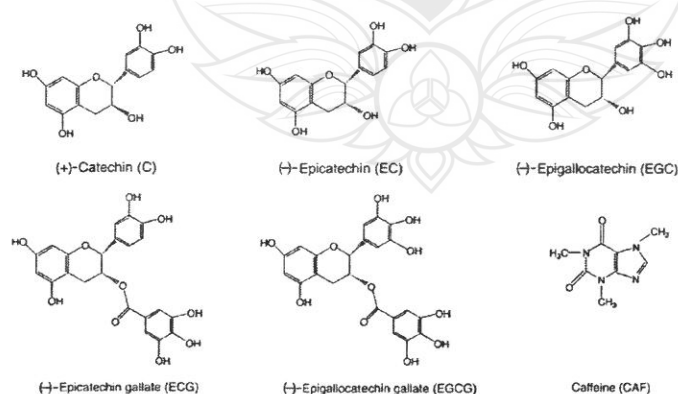


ภาพที่ 1-3 ไร่ชาบนดอยยาวี อ.แม่สรวย จ.เชียงราย

ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกชาที่สำคัญโดยเฉพาะจังหวัด เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง แพร่ และแม่ฮ่องสอน โดยพื้นที่ดอยแม่สลองจังหวัดเชียงรายมีพื้นที่การปลูกถึง 4,500 ไร่ ซึ่งให้ผลผลิตชาปริมาณถึง 200 ตันต่อปี 70%ของผลผลิตทั้งหมดบริโภคภายในประเทศ 30%ที่เหลือเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออก ชาที่ผลิตได้ในประเทศไทยส่วนใหญ่คือชาอัสสัมซึ่งเป็นชาพันธุ์พื้นเมืองของภาคเหนือของประเทศไทย โดยพบปริมาณการผลิตชาอัสสัมคิดเป็น 83% และชาจีนคิดเป็นเพียง 17% (กรมวิชาการเกษตร, 2540)

สรรพคุณทางยาของชาเป็นที่รู้จักกันมานานนับทศวรรษแต่ได้รับการรับรองทางวิทยาศาสตร์มาเมื่อไม่นานมานี้ คุณสมบัติและสรรพคุณทางยาของชาเกี่ยวข้องกับสารฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ ในใบชาที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ชาเขียวเป็นแหล่งที่ดีของสารกลุ่มคาเทชิน จากการทดลองพบว่าคาเทชินมีคุณสมบัติในการช่วยลดความเสียหายของเซลล์อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าวิตามินซีและวิตามินอี (Catherine A. Rice-Evans และคณะ, 1997) จากการศึกษาพบว่าการเกิดมะเร็งที่พบโดยทั่วไปเช่น มะเร็งผิวหนัง มะเร็งช่องอก มะเร็งปอด มะเร็งลำไส้ใหญ่ สามารถลดลงได้ด้วยการบริโภคชาเขียว นอกจากนี้ยังพบว่าคนที่บริโภคชาเขียวเป็นประจำช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจอีกด้วย สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในชาช่วยลดปริมาณ LDL คอเลสเตอรอล และช่วยเพิ่ม HDL คอเลสเตอรอล อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือด (Harvard health publications, 2004)

สารในกลุ่มคาเทชินหลักที่พบในชาได้แก่ (-)-epicatechin (EC), (-)-epicatechin gallate (ECG), (-)-epigallocatechin (EGC) และ (-)-epigallocatechin gallate (EGCG) โดยเฉพาะ EGCG ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความแรงที่สุดเนื่องจากโมเลกุลมี hydrogen radical donors มากที่สุด (Koketsu, 1997) คาเทชินที่พบในชาเขียวมีปริมาณค่อนข้างสูงและยังพบว่าสารดังกล่าวช่วยยับยั้งการก่อตัวของมะเร็ง (Dufresne และ Farnsworth, 2001)



ภาพที่ 1-4 โครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มคาเทชินที่พบในชา (Zuo และคณะ, 2002)

ที่ผ่านมาการบริโภคชาทำได้โดยการนำเอาใบชาแห้งมาลวกในน้ำร้อนเพื่อให้ได้เครื่องดื่มชา แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาผงขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ง่ายต่อการขนส่งและช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งผงสามารถใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพหรือประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหารเช่น เป็นส่วนผสมของสบู่ล้างมือ แชมพูและยาสีฟัน เป็นต้น อีกทั้งผลิตภัณฑ์ชาผงสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ขนมขบเคี้ยว เครื่องดื่ม เครื่องสำอางและยา

ในการที่จะนำสารสำคัญในใบชาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์นั้นจะต้องใช้กระบวนการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลวเพื่อสกัดสารสำคัญดังกล่าวออกมาจากใบชาให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ซึ่งสารสกัดที่อยู่ในรูปของเหลวค่อนข้างมีความยุ่งยากในการเก็บรักษาและการนำไปใช้ ดังนั้นกระบวนการทำแห้งสารสกัดที่ได้ให้อยู่ในรูปของผงแห้งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาเนื่องจากการลดขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลง อีกทั้งยังเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บทำให้ง่ายในการนำไปใช้งานและเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ชา

การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เป็นเทคนิควิธีที่ใช้ในการผลิตอาหารผงจากอาหารเหลว เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้เวลาในการทำแห้งค่อนข้างจะสั้น จึงสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังทำแห้ง เช่น สี กลิ่นรส และคุณค่าทางอาหาร ได้ในระดับหนึ่ง คุณภาพของอาหารผงแห้งที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการเสื่อมสลายทางเคมีและกายภาพในระหว่างกระบวนการทำแห้ง ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเขียวและอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเริ่มต้นที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งสารสกัดชาเขียวโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

- 1) ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งสารสกัดชาเขียวด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ได้คุณลักษณะผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี
- 2) ทราบสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยและในทางอุตสาหกรรมอาหารและยาต่อไป

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า (Inlet air temperature) และปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเริ่มต้น (Total solid) ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียว

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) สกัดสารสกัดชาเขียวจากชาเขียวอยู่หลงเบอร์ 12
- 2) ศึกษาสถานะในการทำแห้งสารสกัดจากชาเขียวโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JMC-miniLAB spray dryer (จากบริษัท Euro Best Technology, Ltd., ประเทศไทย)



บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชา

ชาเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก ซึ่งชาผลิตมาจากใบของต้นชา (*Camellia sinensis*) อนุกรมวิธานของชาแสดงดังตารางที่ 2-1

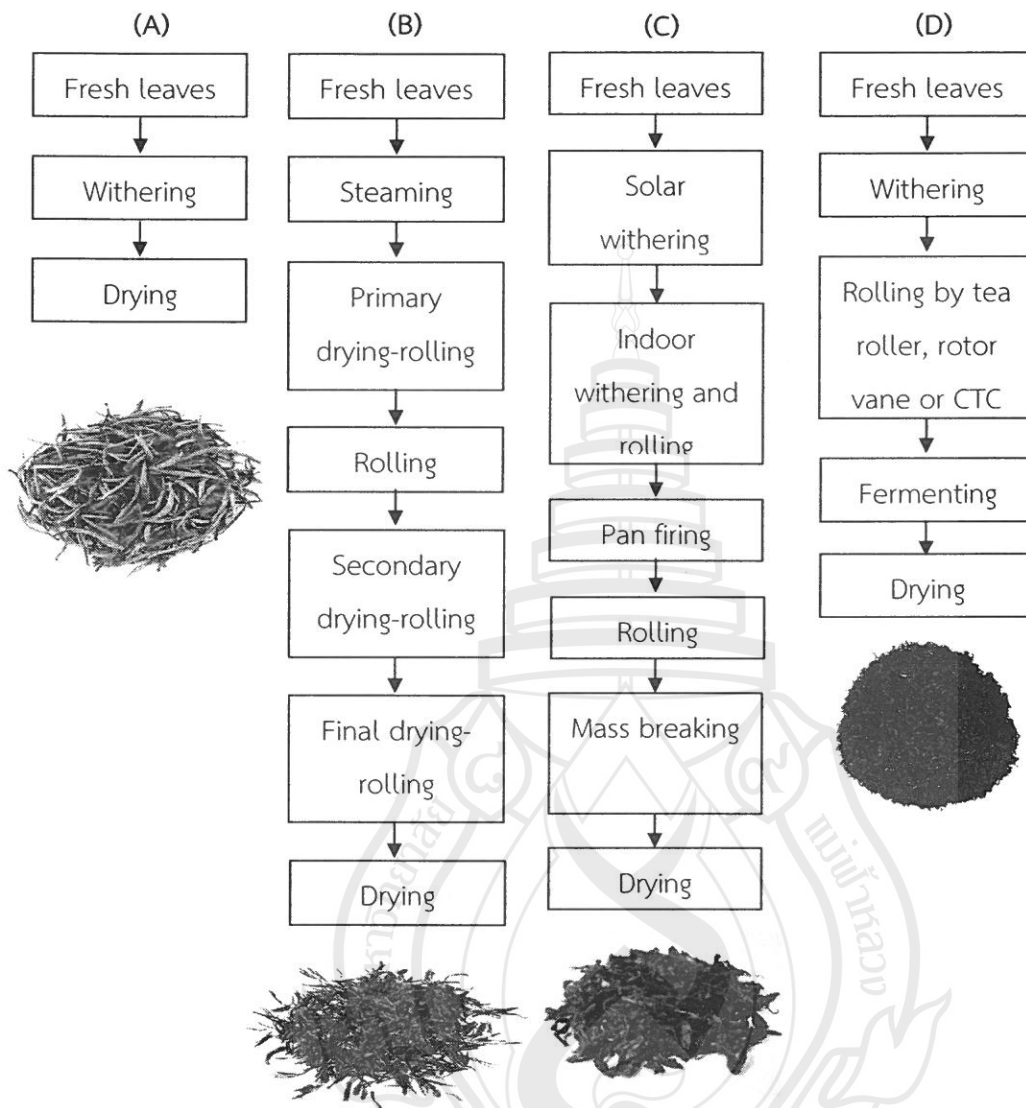
ตารางที่ 2-1 อนุกรมวิธานของชา

Common name:	Tea
Kingdom:	Plantae
Division:	Spermatophyta
Subdivision:	Angiospermae
Class:	Dicolyledone
Ordo:	Guttiferales
Family:	Theaceae
Genus:	Camellia
Species:	<i>Camellia sinensis</i>

ปริมาณการผลิตชาทั่วโลกในปี 2008 สูงถึง 3.6 ล้านตัน ปริมาณการผลิตชาในประเทศไทยในปี 2008 อยู่ที่ประมาณ 61.56 พันตัน (FAO, 2008) ในจำนวนนี้ร้อยละ 70 ของปริมาณชาที่ผลิตได้ผลิตที่จังหวัดเชียงราย (Winyayong, 2008) ผลผลิตชาสามารถจำแนกออกเป็น ชาขาว ชาเขียว ชาอู่หลงและชาดำ ตามกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2-1 ชาเป็นเครื่องดื่มที่นิยมทั่วทุกมุมโลก ชาขาวและชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักซึ่งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะถูกยับยั้งด้วยกระบวนการนี้ ชาอู่หลงเป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักเพียงครึ่งเดียว (semi-fermented tea) ส่วนชาดำเป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมักอย่างสมบูรณ์ กระบวนการผลิตที่ต่างกันส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของชาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไปด้วย (Hara, 2000)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของชา

องค์ประกอบทางเคมีของชาขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ อายุของต้นชา ฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว และกระบวนการผลิต (Shanidi และ Naczek, 2004) องค์ประกอบทางเคมีของชาแสดงในตารางที่ 2-2



ภาพที่ 2-1 กระบวนการผลิตชา (A) ชาขาว (B) ชาเขียว (C) ชาอู่หลง (D) ชาดำ (Hara, 2000)

ในชาเขียวมีสารจำพวกโพลีฟีนอลได้แก่ ฟลาโวนอล(flavonols) ฟลาแวนดิโอล (flavandiols) ฟลาโวนอยด์(flavonoids) และกรดฟีนอลิก(phenolic acids) ซึ่งพบว่ามีปริมาณสูงถึงร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง โพลีฟีนอลหลักในชาเขียวคือคาเทชิน(catechins) ซึ่งพบว่าคาเทชินมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 60 – 80 ของโพลีฟีนอลทั้งหมดในชา

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของ ชาเขียว ชาดำ และสารสกัดชา

Compound	Green Tea*	Black Tea*	Infusion*
Protein	15	15	Trace
Amino Acids	4	4	3.5
Fiber	26	26	0
Other carbohydrates	7	7	4
Lipids	7	7	Trace
Pigments	2	2	Trace
Mineral	5	5	4.5
Phenolic compounds	30	5	4.5
Oxidized phenolic compounds	0	25	4.5

*ข้อมูลที่แสดงต่อหนึ่งหน่วยใบชาแห้ง leaves (Chako และคณะ, 2010)

2.2.1 สารกลุ่มโพลีฟีนอลในชา (tea polyphenols)

โพลีฟีนอลเป็นสารสำคัญในใบชาซึ่งสามารถสกัดได้ด้วยน้ำร้อนหรือสกัดโดยใช้สารละลายเอทิลอะซิเตต (ethyl acetate) สารสกัดที่ได้จะมีรสชาติขมและฝาดเล็กน้อย ในชาเขียวจะพบสารคาเทชิน (catechins) หรือ flavan-3-ols ซึ่งเป็นสารกลุ่มโพลีฟีนอลหลักที่พบในใบชาซึ่งอาจจะพบเป็นปริมาณสูงถึงร้อยละ 25-35 โดยน้ำหนักแห้งในใบชาสด (Belitz, 2004) สารคาเทชินหลัก 6 ชนิดในชาดังกล่าวจะมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ อายุของต้นชา ฤดูกาลที่เก็บเกี่ยวดังแสดงในตารางที่ 2-3 จากปริมาณคาเทชินทั้ง 6 ชนิดดังกล่าวพบว่า (-)-EGCG มีปริมาณสูงสุดรองลงมาคือ (-)-EGC, (-)-ECG และ (-)-EC ตามลำดับ ส่วน (+)-GC และ (+)-C พบในปริมาณเล็กน้อย

คาเทชินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มคาเทชินอิสระ (free catechins) ประกอบไปด้วย (+)-catechin (C), (+)-gallocatechin (GC), (-)-epicatechin (EC) และ (-)-epigallocatechin (EGC) และกลุ่มเอสเทอร์ของคาเทชิน (esterified catechins) ซึ่งประกอบไปด้วย (-)-epicatechin gallate (ECG), (-)-epigallocatechin gallate (EGCG), และ (-)-gallocatechin gallate (GCG)

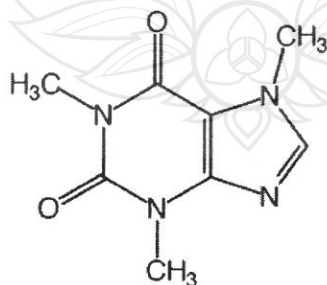
Epigallocatechin gallate (EGCG) เป็นองค์ประกอบหลักของสารฟีนอลิกในชาเขียวซึ่งพบว่ามีปริมาณสูงถึงร้อยละ 10 ถึง 50 ของคาเทชินในชาทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ EGCG เป็น 100 เท่าของวิตามินซีและเป็น 25 เท่าของวิตามินอี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารคาเทชินเรียงจากน้อยไปหามากตามลำดับดังนี้คือ EC<ECG<EGC<EGCG (Meterc และคณะ, 2007).

ตารางที่ 2-3 ปริมาณสารโพลีฟีนอล (กรัม ต่อ 100 กรัม) ในแต่ละฤดูกาลและในแต่ละสายพันธุ์ (Chu และ Juneja, 1997)

Polyphenols		var. <i>sinensis</i>		var.	C.	C.
		Spring	Summer	<i>assamica</i>	<i>tariensis</i>	<i>irrawadiensis</i>
(+)-Catechin	(C)	tr.*	0.07	0.02	-	-
(+)-Gallocatechin	(GC)	tr.*	tr.*	-	-	-
(-)-Epicatechin	(EC)	1.50	1.50	1.13	0.58	0.76
(-)-Epicatechin gallate	(ECG)	2.80	4.10	3.35	1.9	0.75
(-)-Epigallocatechin	(EGC)	4.00	3.70	0.35	0.8	0.12
(-)-Epigallocatechin gallate	(EGCG)	8.80	12.20	12.1	6.84	0.25

2.2.2 คาเฟอีน (caffeine)

พืชที่มีคาเฟอีน (Caffeine) เป็นองค์ประกอบพบไม่มากนักส่วนมากพบในพืชที่ใช้เป็นเครื่องดื่มเช่น ชาและกาแฟ คาเฟอีนคือสารที่สังเคราะห์ขึ้นในใบชา ในกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนอยู่ที่ร้อยละ 1.5 แต่ในใบชาอาจจะพบสูงถึงร้อยละ 5 สำหรับชาที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายพบว่าปริมาณคาเฟอีนขึ้นอยู่กับสภาวะในการสกัด อาทิ อุณหภูมิและเวลา แต่ไม่ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์หรือชนิดของชา (Suteerapataranon และคณะ, 2009) คาเฟอีนหรือ 1,3,7-trimethylxanthine ($C_8H_{10}N_4O_2$) เป็นสารจำพวกอัลคาลอยด์ (alkaloid) ที่พบในพืชตระกูลชาและกาแฟ นอกจากคาเฟอีนในเครื่องดื่มแล้วสารสกัดคาเฟอีนจากชายังเป็นส่วนประกอบของยาบรรเทาอาการปวด คาเฟอีนมีฤทธิ์ในการกระตุ้นประสาทซึ่งพบว่ามีปริมาณร้อยละ 2 ถึง 4 โดยน้ำหนักของใบชาแห้งขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของชา (Yoshida และคณะ, 1999)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างทางเคมีของสารคาเฟอีน (Zuo และคณะ, 2002)

2.2.3 กรดอะมิโนและสารประกอบไนโตรเจน (amino acid and other nitrogenous compounds)

โปรตีนที่พบในใบชาส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่สามารถละลายน้ำได้เนื่องจากการสร้างพันธะกับแทนนินในระหว่างกระบวนการผลิตชา โดยที่พบกรดอะมิโนมากกว่า 26 ชนิดในใบชาดังแสดงในตารางที่ 2-4 อาทิ ทีเอนิน (theanine) กรดกลูตามิก (glutamic acid) กรดแอสพาทิก (aspartic acid) เซอร์รีน (serine) กลูตามีน (glutamine) อะลานีน (alanine) อาร์จินีน (arginine) และทรีโอนีน (threonine) โดยที่กรดอะมิโนหลักในชาคือทีเอนินซึ่งมีปริมาณร้อยละ 60 ถึง 70 ของกรดอะมิโนทั้งหมด (Chen และคณะ, 2009) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารสกัดชาอยู่ในช่วงร้อยละ 4.5 ถึง 6.0 และพบว่าเป็นกรดอะมิโนอิสระในปริมาณครึ่งหนึ่งของทั้งหมด ทีเอนินและกรดกลูตามิกเป็นกรดอะมิโนหลักในสารสกัดชาเขียวรองลงมาคือกรดแอสพาทิกและอาร์จินีน ปริมาณของกรดอะมิโนในใบชาที่เก็บเกี่ยวในฤดูใบไม้ผลิพบว่ามีความสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบชาที่เก็บเกี่ยวในฤดูอื่น

ตารางที่ 2-4 กรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่พบในสารสกัดชาเขียว (ปรับปรุงจาก Chu และ Juneja, 1997)

Amino acid	Range of Content	Average	Relative %
Theanine	194.0 - 2,771.5	1,201.9	45.9
Glutamic acid	154.5 - 441.1	277.2	12.7
Arginine	16.3 - 909.9	265.0	9.2
Aspartic acid	131.0 - 352.0	226.6	10.8
Glutamine	24.2 - 599.7	206.1	7.5
Serine	43.1 - 282.2	83.9	3.8
Threonine	16.5 - 80.9	30.4	1.4
Alanine	20.8 - 85.6	29.9	1.4
Asparagine	3.1 - 45.0	23.1	1.2
Lysin	5.4 - 42.2	21.2	1.0
Phenylalanine	7.4 - 38.6	20.8	1.1
Valine	4.6 - 137.2	19.8	1.0

2.2.4 วิตามิน (vitamins)

ชาเขียวที่จำหน่ายโดยทั่วไปมีปริมาณวิตามินซีประมาณ 280 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้พบว่าปริมาณวิตามินซีในชาอูหลงและชาดำมีปริมาณน้อยกว่าในชาเขียวเนื่องจากเสื่อมสลายระหว่างกระบวนการหมัก ชาเขียวมีปริมาณวิตามินและแร่ธาตุสูงโดยพบว่ามีปริมาณวิตามินซีใกล้เคียงกับเลมอน และในชาเขียวยังพบวิตามินบีซึ่งละลายได้ดีในน้ำ การดื่มน้ำชาห้าถ้วยต่อวันจะทำให้ได้รับไรโบฟลาวิน (riboflavin) ไนอะซิน (niacin) กรดโฟลิก (folic acid) และกรดเพนโทเทนิค (pantothenic acid) ในปริมาณร้อยละ 5 ถึง 10 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการ (David Hayden, 2005)

2.2.5 สารอนินทรีย์ (Inorganic elements)

สารอนินทรีย์ที่พบในชาได้แก่ อลูมิเนียม (aluminum) ฟลูออรีน (fluorine) และแมงกานีส (manganese) โดยที่ปริมาณอลูมิเนียมและฟลูออรีนในใบชาพบว่ามีปริมาณสูงกว่าพืชโดยทั่วไป การดื่มน้ำชาห้าถ้วยในหนึ่งวันจะทำให้ได้รับแมกนีเซียมร้อยละ 5 โพแทสเซียมร้อยละ 25 และแมงกานีสร้อยละ 45 ของปริมาณที่ร่างกายต้องการ ชาเขียวมีปริมาณฟลูออรีนค่อนข้างสูงโดยพบว่ามีในน้ำชาเขียวหนึ่งแก้วจะมีปริมาณฟลูออรีนสูงถึง 0.1 มิลลิกรัม (David Hayden, 2005)

2.1.6 สารอื่นๆ (Others)

2.1.6.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในชาเขียวมีปริมาณประมาณร้อยละ 40 และหนึ่งในสามของปริมาณดังกล่าวคือเส้นใยเซลลูโลส พบสตาร์ชในใบชาซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของชาเขียว การสังเคราะห์สตาร์ชในใบชาเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นปริมาณสตาร์ชในใบชาจะแปรเปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลาของวัน ปริมาณสตาร์ชในใบชาที่เก็บเกี่ยวในช่วงเช้าพบว่ามีปริมาณน้อยกว่าใบชาที่เก็บเกี่ยวในช่วงบ่ายซึ่งส่งผลให้ชาที่เก็บเกี่ยวในช่วงเช้ามีคุณภาพที่ดีกว่า

2.1.6.2 ไขมัน

ใบชามีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เมล็ดชาที่มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 20-35, 30-35 และ 43-45 โดยน้ำหนักในชาที่ปลูกในประเทศ ญี่ปุ่น จีน และชาอัสสัมตามลำดับ ในปัจจุบันพบว่ามีมีการนำน้ำมันจากเมล็ดชามาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง

2.3 ประโยชน์ของชา

เป็นที่น่าสนใจว่าชาเขียวมีคุณประโยชน์อย่างมากมาต่อสุขภาพและชาเขียวยังใช้ประโยชน์เป็นสมุนไพรในจีนมาไม่น้อยกว่า 4,000 ปี คนจีนในยุคโบราณรู้จักคุณประโยชน์ของชาเขียวที่มีต่อสุขภาพเป็นอย่างดีโดยการนำมาใช้เป็นยา อาทิ ช่วยลดอาการปวดหัว ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ทั้งในเอเชียและตะวันตกต่างยืนยันว่าการดื่มชามีคุณประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพ

สารโพลีฟีนอลในชาเขียวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง (-)-Epigallocatechin-3-gallate (EGCG) ในชาเขียวสามารถต่อต้านการเกิดเนื้องอกโดยการต่อต้านการลุกลามและการก่อตัวของเซลล์เนื้องอก (Zhang และคณะ, 2009) โพลีฟีนอลยังยับยั้งการเจริญและพัฒนากาของมะเร็งในหนูทดลองและมนุษย์ (Chuu และคณะ, 2009)

จากการศึกษาของ Katiyar และคณะ (2007) พบว่าสารโพลีฟีนอลในชาเขียวมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ อาทิเช่น ป้องกันการสังเคราะห์มะเร็งที่เกิดจาก UV โดยเฉพาะอย่างยิ่ง EGCG ที่เป็นสารออกฤทธิ์ที่ช่วยในการป้องกันแสงที่อันตรายที่สุด นอกจากนี้จากการศึกษากับผิวหนังมนุษย์พบว่าสารโพลีฟีนอลจากชาเขียวช่วยสร้างภูมิคุ้มกันที่ป้องกันการเกิดมะเร็งผิวหนัง (Katiyar และคณะ, 2001) จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าสารอนุพันธ์ของโพลีฟีนอลจากชาเขียวช่วยป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง EGCG ที่เป็นสารออกฤทธิ์ที่ดีจากชาเขียว ซึ่งการออกฤทธิ์ของสารโพลีฟีนอลในชาที่ส่งผลในการยับยั้งและต่อต้านการเกิดมะเร็งและโรคหัวใจในมนุษย์ (Khan และ Mukhtar, 2007)

จากการศึกษาโดยใช้สัตว์ทดลองพบว่าคาเทชินในชาเขียวช่วยป้องกันโรคความจำเสื่อมอีกด้วย ยังเป็นสารต้านการก่อเกิดเนื้องอก (Roomi และคณะ, 2007) การดื่มชาเป็นประจำจะช่วยป้องกันมะเร็งชนิดต่างๆ เช่น มะเร็งปอด มะเร็งลำไส้ มะเร็งหลอดลม มะเร็งปาก มะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งลำไส้เล็ก มะเร็งไต มะเร็งตับอ่อน และมะเร็งเต้านม (Koo, 2004) นอกจากนี้ชาเขียวยังช่วยลดความดันโลหิตและลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าชาเขียวช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจโดยมีส่วนช่วยในการลดระดับน้ำตาลในเลือดและลดน้ำหนัก (Tsuneki และคณะ, 2004)

2.4 สารสกัดจากชา (tea extract)

การศึกษาค่า pH และความเข้มข้นของไบโชาสและแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์พบว่าที่สภาวะเป็นกรดช่วยยับยั้งการเกิด epimerization ของ total polyphenols ทั้งไบโชาสและไบชาแห้งได้ โดยกรดที่ใช้ปรับค่า pH คือกรดซิตริกที่ใช้สำหรับการผลิตอาหารจึงไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภค จากผลการทดลองพบว่าค่า pH ที่ดีที่สุดคือ pH 4 แต่อาจทำให้เกิดรสเปรี้ยวในชาที่สกัดได้ ปริมาณ tannins ที่ได้จากไบชาสน้อยกว่าที่ได้จากไบชาแห้งเนื่องจากไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนระหว่างผลิตชาเขียวซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับปริมาณ caffeine และ theanine ที่วิเคราะห์ได้จาก

ใบชาสดมีมากกว่าในใบแห้งเนื่องจากสารทั้งสองชนิดสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อนเช่นกัน ซึ่งสภาวะที่ทำให้สารออกฤทธิ์ส่วนมากรวมทั้ง catechins ละลายออกมาได้ดีคือที่การสกัด 90°ซ เป็นเวลา 80 นาทีโดยการควบคุมค่า pH ของสารสกัดที่ pH 5 โดยสภาวะการสกัดเพื่อศึกษาจลนศาสตร์การละลายนี้มีค่าประสิทธิภาพการสกัดมากกว่า 50% ซึ่งค่าประสิทธิภาพอาจเพิ่มขึ้นได้อีกหากมีการปรับสภาวะให้เหมาะสมกับสารออกฤทธิ์แต่ละตัว ดังนั้นในการทดลองนี้การสกัดที่สภาวะอุณหภูมิ 90°ซ เป็นเวลา 80 นาทีจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากได้สารออกฤทธิ์ทุกตัวในปริมาณมากที่สุด (ณัฐกาญจน์ และ คณะ, 2553)

2.5 อาหารผงแห้ง (food powder)

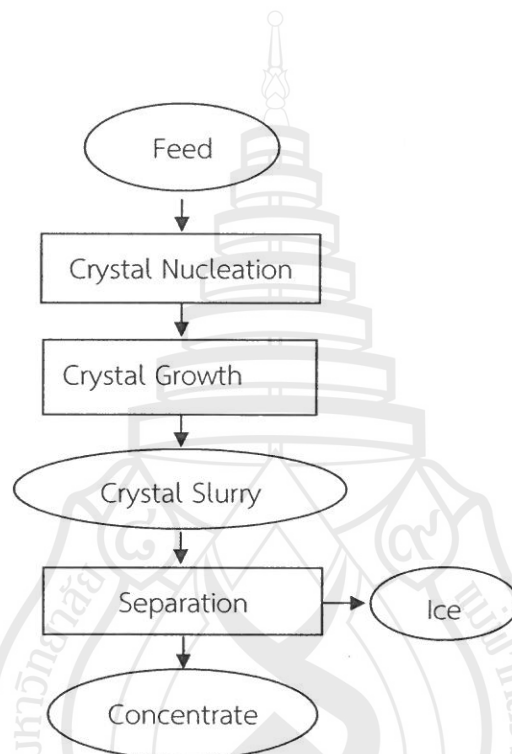
วัตถุประสงค์หลักของการทำอาหารผงแห้งเพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาของวัตถุดิบอาหารโดยการลดปริมาณน้ำลง อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนในการขนส่งเนื่องจากการกำจัดน้ำออกจากอาหารส่งผลให้น้ำหนักลดลงซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Gustavo และคณะ, 2010) อาหารผงแห้งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารต่างๆ มากมาย ซึ่งจะช่วยให้ส่งเสริมคุณลักษณะของอาหารเช่น เนื้อสัมผัส กลิ่นรส สี และโภชนาการ เป็นต้น อาหารผงส่วนมากจะใช้งานในลักษณะที่เป็นส่วนผสมแบบเปียกซึ่งต้องนำไปผสมกับน้ำก่อน ดังนั้นสมบัติของอาหารผงจึงขึ้นอยู่กับสมบัติหลังการละลายน้ำ สภาวะในการทำแห้งก็ส่งผลต่อวัตถุดิบแต่ละชนิดแตกต่างกันไป อาทิ ปริมาณสารหอมระเหยที่เหลือ สภาพการทำงานของเอนไซม์ การหลีกเลี่ยงการแปรสภาพของโปรตีน ปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการตกผลึกของไขมัน (Huntington, 2004)

โดยทั่วไปอาหารผงแห้งจะมีขนาดอนุภาคประมาณ 30 ไมครอนและมีปริมาณน้ำอิสระประมาณ 0.2 โดยที่ในระหว่างกระบวนการทำให้อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะควบคุมให้อยู่ที่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้นเพียงไม่กี่วินาที (Huntington, 2004) คุณลักษณะที่ส่งผลต่อสมบัติของอาหารแห้งตัวอย่างเช่น ความหนาแน่น (bulk density) ความหนาแน่นอนุภาค (particle density), ความสามารถในการเปียกน้ำ (wettability) และความสามารถในการละลาย (solubility) ความพรุน (porosity) พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific area) ความสามารถในการไหล (flowability) ความคงตัวในสภาวะการเก็บ (stability in specific atmosphere) (Huntington, 2004) จากการประเมินคุณภาพของชาเขียวผงสำเร็จรูปพบว่าลักษณะปรากฏที่สำคัญได้แก่ รสชาติ กลิ่นรส สี และความเข้มข้น ตามลำดับ (Sinija, 2011)

2.6 การทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง (freeze concentration)

การทำเข้มข้นอาหารเหลวทำได้โดยการลดอุณหภูมิของอาหารเหลวลงจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเพียงพอที่จะทำให้ในอาหารเหลวบางส่วนเกิดการแข็งตัวและเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้น ถ้าหากควบคุม

สภาวะที่เหมาะสมผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีความบริสุทธิ์สูงนั่นคือจะมีอาหารเหลวเข้มข้นเพียงเล็กน้อยที่เจือปนในผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้น จากนั้นผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกจากอาหารเหลวเข้มข้นด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งโดยที่มีอาหารเหลวเข้มข้นปะปนไปน้อยที่สุด โดยในที่สุดจะได้อาหารเหลวเข้มข้นเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย กระบวนการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งดังแสดงในภาพที่ 2-3

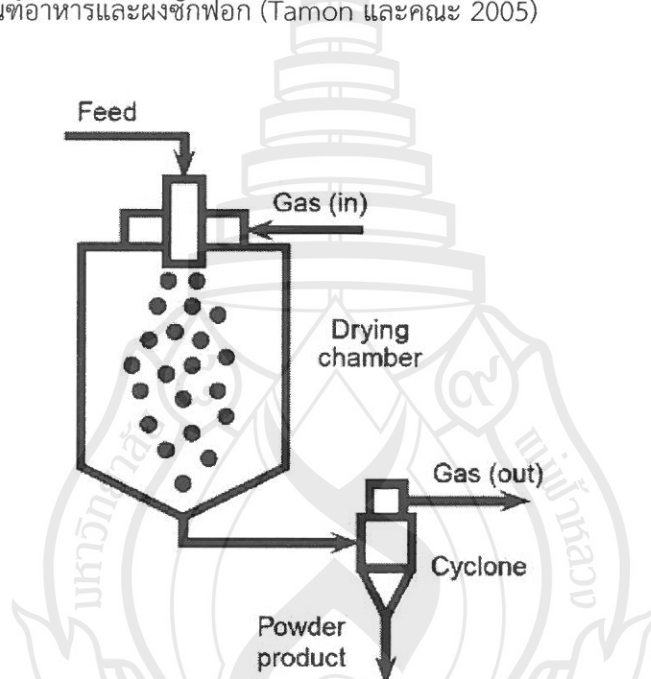


ภาพที่ 2-3 กระบวนการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง (Hartel, 1992)

กระบวนการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับอาหารหลากหลายชนิดเช่น น้ำส้มคั้น น้ำส้มสายชู ชา กาแฟ น้ำเชื่อม ผลิตภัณฑ์นม และสารสกัดหอมระเหย เป็นต้น ข้อดีของการทำเข้มข้นด้วยวิธีนี้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการระเหยน้ำ (evaporation) และการใช้ออสโมซิสกลับ (reverse osmosis) ก็คือเป็นวิธีการที่ใช้อุณหภูมิต่ำจึงเหมาะกับอาหารที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนได้ง่าย นอกจากนี้กระบวนการแยกผลึกน้ำแข็งกับของเหลวเข้มข้นออกจากกันไม่ส่งผลต่อการสูญเสียสารหอมระเหยและกลิ่นซึ่งต่างจากการใช้การระเหยน้ำที่มีการสูญเสียค่อนข้างสูง ในส่วนของข้อเสียของกระบวนการนี้ก็คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง ต้นทุนสูงในการจัดการสูง และเกิดการสูญเสียระหว่างการแยกน้ำแข็ง (Hartel, 1992)

2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการทำแห้งโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ เครื่องอบแห้งที่ฉีดพ่นสารละลายหรือของเหลวที่มีอนุภาคขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ในให้เป็นหยดเล็กๆ เข้าไปในกระแสมรอนดังแสดงในภาพที่ 2-4 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีสภาพเป็นอนุภาคขนาดเล็กในระดับไมโครเมตร เนื่องจากอัตราส่วนความชื้นเริ่มแรกมีค่าสูง ดังนั้นต้นทุนของพลังงานความร้อนต่อมวลหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์จะสูง แต่เนื่องจากเวลาในการอบแห้งสั้นมากจึงส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างน้อย เครื่องอบแห้งชนิดนี้นิยมใช้มากในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารและผงซักฟอก (Tamon และคณะ 2005)



ภาพที่ 2-4 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

(ที่มา: <http://www.chec.kt.dtu.dk/>)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ผงแห้งและมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เคมี เซรามิก อาหาร การแปรรูปยาและอื่นๆ แต่ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้กับผลิตภัณฑ์ที่สามารถเสียหายหรือองค์ประกอบทางเคมีสลายตัวได้ด้วยความร้อน (Jindal และคณะ, 2003) มีตัวแปรหลายตัวที่ส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองกลุ่มคือ แบ่งตามตัวแปรอันเนื่องมาจากการอบแห้งและตัวแปรอันเนื่องมาจากการลักษณะของวัตถุดิบ ตัวแปรเนื่องจากการอบแห้งเช่น อุณหภูมิอากาศร้อน อัตราเร็วลมร้อน คุณภาพของอากาศ อัตราการไหลของวัตถุดิบ ชนิดของหัวพ่นฝอยและสัดส่วนของ

อากาศกับของเหลว ตัวแปรเนื่องจากวัตถุดิบเช่น ความเข้มข้น ความหนืด แรงตึงผิวและปริมาณสารอื่นที่เติมลงไปในวัตถุดิบ (Kongsoontornkijkul, 2005)

อาหารที่สามารถนำมาผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ อาหารที่ไม่มีความเหนียวและอาหารที่มีความเหนียว โดยทั่วไปอาหารที่ไม่มีความเหนียวสามารถทำแห้งโดยใช้การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้เลยซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะไม่จับตัวเป็นก้อนตัวอย่างเช่น หางนม มอลโตเดกซ์ตริน กัมและโปรตีน ในส่วนของอาหารที่มีความเหนียวไม่สามารถอบแห้งแบบพ่นฝอยได้โดยตรงแต่ต้องมีการเติมสารช่วยอื่นลงไปตัวอย่างเช่น อาหารที่มีน้ำตาลหรือกรดสูง อาทิ น้ำผัก น้ำผลไม้และน้ำผึ้ง เป็นต้น ความเหนียวของอาหารเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย การเกิดความเหนียวของวัตถุดิบที่มีน้ำตาลหรือกรดสูงสืบเนื่องมาจากน้ำตาลโมเลกุลเล็กเช่น ฟรุคโตส กลูโคส ซูโครส และกรดอินทรีย์ เช่น ซิตริก ตาตาร์ริก ซึ่งของแข็งเหล่านี้พบมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ในผลิตภัณฑ์จำพวกน้ำผลไม้ (Saroachawitkasit, 2006)

Clark และคณะ (1984) ได้ทำการอบแห้งน้ำชาสกัดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าเท่ากับ 200 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิขาออกเท่ากับ 60 องศาเซลเซียสพบว่าเมื่อนำผงชาสกัดดังกล่าวไปละลายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสด้วยความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ของแข็งจะได้น้ำชาที่มีความใสที่สุด

คุณภาพของอาหารผงสามารถจำแนกได้หลายด้านด้วยกันโดยอาศัยคุณสมบัติต่างๆ อาทิ ปริมาณความชื้น การเกาะตัวเป็นก้อน ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการละลายและการคืนรูป ปริมาณการได้คืนของผลิตภัณฑ์ได้จากปริมาณของผงผลิตภัณฑ์ที่ได้ การสูญเสียส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการตกค้างของผลิตภัณฑ์ผงบริเวณห้องทำแห้งของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเฉพาะวัตถุดิบที่มีน้ำตาลสูง (Bhandari และคณะ, 1997) ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายถูกควบคุมด้วยอุณหภูมิขาออกของอากาศร้อน ความชื้นของอากาศขาเข้าก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ หากอากาศขาเข้ามีปริมาณความชื้นสูงต้องควบคุมให้อุณหภูมิขาออกสูงตามขึ้นไปด้วยเพื่อให้ได้ความชื้น สุดท้ายของผลิตภัณฑ์เท่าเดิม (Sanpakdee, 2007) การเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าส่งผลให้ลดค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอัตราการระเหยสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นรูพรุนสูง (Goula และ Adampoulos, 2005)

Wongsuwan (2008) พบว่าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดชาเขียวอัสสัมเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำจะช่วยรักษารสชาติประกอบทางเคมีได้ดีกว่าการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่า แต่ในทางกลับกันสมบัติทางกายภาพ อาทิ ความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง

จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นการที่จะผลิตผงสารสกัดจากชาที่มีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดีได้นั้น ต้องทราบสถานะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งที่ดีที่สุด

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนอาหารเหลวให้กลายเป็นอาหารผงแห้งโดยการพ่นอาหารเหลวเข้าไปในห้องที่มีอากาศร้อนหมุนเวียนอยู่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจจะอยู่ในรูปอนุภาคเดี่ยวหรือรวมกันอยู่หลายอนุภาค (agglomerates) อาหารเหลวที่เข้าสู่ระบบอาจจะอยู่ในรูปสารละลาย สารแขวนลอย หรือลักษณะคล้ายน้ำแป้ง เป็นวิธีการสำคัญวิธีหนึ่งที่ใช้ในการทำแห้งอาหารเหลวให้เป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้ง

ข้อดีของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

- 1) สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ง่าย
- 2) อาหารที่ไวต่อความร้อน ผลิตภัณฑ์ชีวภาพและยาสามารถทำแห้งในสภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิต่ำ ในบางกรณีสามารถใช้ก๊าซเฉื่อยในกระบวนการทำแห้งได้
- 3) สามารถทำการผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรมและเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง อุปกรณ์ที่ใช้ไม่ยุ่งยากมากนัก
- 4) เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะสัมผัสกับอุปกรณ์ในสภาพที่แห้งแล้วจึงมีปัญหาเรื่องการกัดกร่อนค่อนข้างน้อย
- 5) ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความใกล้เคียงกัน อนุภาคเป็นทรงกลม และมีองค์ประกอบ(ในส่วนใหญ่ไม่ระเหย)ใกล้เคียงกับอาหารเหลวก่อนเข้าสู่ระบบทำแห้ง

ข้อเสียของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

- 1) ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารผงที่มีความหนาแน่น (bulk density) สูง
 - 2) ความยืดหยุ่นต่ำเนื่องจากอาการออกแบบหัวพ่น (nozzle) ไม่สามารถผลิตอาหารผงที่มีความหยาบหรือละเอียดกว่าได้
 - 3) เนื่องจากอัตราการทำแห้งค่อนข้างสูงเพราะฉะนั้นต้องป้อนอาหารเหลวในอัตราที่ค่อนข้างสูงดังนั้นปั๊มที่ใช้ต้องมีแรงมากพอจึงทำให้ใช้พลังงานสูง
 - 4) การลงทุนเริ่มต้นค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยวิธีการอื่น
- ต้นทุนการทำแห้งค่อนข้างสูง (Xin และ Mujumdar, 2010)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีอยู่ 4 ขั้นตอนคือ

1) การพ่นฝอยอาหารเหลว

เป็นการทำให้อาหารเหลวให้กลายเป็นละอองเพื่อให้ละอองอาหารเหลวไปสัมผัสกับอากาศร้อนโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าอะตอมไมเซอร์ (atomizer) การเลือกอะตอมไมเซอร์ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหารเหลว โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มพลังงานสำหรับกระบวนการพ่นฝอยก็จะได้อนุภาคอาหารเหลวที่เล็กลง แต่ถ้าหากพลังสำหรับกระบวนการพ่นฝอยเท่าเดิมการเพิ่มอัตราการไหลของอาหารเหลวจะทำให้ได้อนุภาคอาหารเหลวที่ใหญ่ขึ้น ขนาดอนุภาคที่ได้จากโรตารีอะตอมไมเซอร์ (rotary atomizer) จะได้อนุภาคละเอียดมากจะถึงปานกลาง (ขนาดเฉลี่ย 30-130 μm) ส่วนอะตอมไมเซอร์แบบหัวฉีด (nozzle atomizer) จะได้อนุภาคที่หยาบกว่า (ขนาดเฉลี่ย 120-250 μm)

2) การผสมของละอองอาหารเหลวกับอากาศร้อน

ละอองอาหารเหลวจะถูกพ่นเข้าไปในห้องทำแห้งไปในทิศทางเดียวกันกับอากาศร้อน (co-current flow) ซึ่งนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน ละอองอาหารเหลวจะระเหยอย่างรวดเร็วและอากาศร้อนก็จะเย็นตัวลง ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งสัมผัสกับอากาศร้อนเพียงระยะเวลาอันสั้น

3) การทำแห้งละอองอาหารเหลว (การระเหยความชื้น)

เมื่อละอองอาหารเหลวสัมผัสกับอากาศร้อนจะเกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว บริเวณผิวของอนุภาค อุณหภูมิบริเวณผิวของอนุภาคจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อน บริเวณอื่นของอนุภาคก็จะเกิดการระเหยตามเมื่อบริเวณผิวอนุภาคเกิดการอึดตัวและเย็นลง การออกแบบห้องอบแห้ง (drying chamber) และทิศทางการไหลของอากาศร้อนจะส่งผลต่อเวลาที่อนุภาคอาหารเหลวสัมผัสกับอากาศร้อน ซึ่งในห้องอบแห้งอนุภาคอาหารเหลวจะแห้งอย่างรวดเร็วจนได้ความชื้นตามต้องการก่อนที่อุณหภูมิผลิตภัณฑ์เท่ากับอุณหภูมิอากาศร้อนขาออกทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากความร้อนน้อย

4) การแยกอาหารผงแห้งออกจากอากาศ

ร้อยละของผลผลิตขึ้นอยู่กับความสามารถในการแยกอาหารผงแห้งออกจากอากาศร้อน ซึ่งในการแยกจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าไซโคลน (cyclone)

ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอันเนื่องมาจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ส่งผลต่อสมบัติของอาหารแห้งผง อาทิ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า ปริมาณของแข็งในอาหารเหลว ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง และอุณหภูมิของอาหารเหลวขาเข้า โดยที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่

เพิ่มขึ้นสามารถลดความต้องการพลังงานของเครื่องอบแห้งเนื่องจากผลิตภัณฑ์จะแห้งไวขึ้น นอกจากนั้นการเพิ่มปริมาณของแข็งในอาหารเหลวขาเข้าร้อยละ 10 จะทำให้ลดพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งลงประมาณร้อยละ 50 ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการทำแห้งควรเตรียมอาหารเหลวให้มีปริมาณของแข็งมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ หากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีความแตกต่างกันสูง (อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า – อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก) พบว่าจะใช้พลังงานในการทำแห้งต่ำกว่าเพื่อที่จะผลิตอาหารผงหนึ่งหน่วยน้ำหนักที่มีความชื้นสุดท้ายเท่ากัน ในส่วนของอุณหภูมิของอาหารเหลวขาเข้าหากเพิ่มอุณหภูมิของอาหารเหลวขาเข้าจะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งลงและการให้ความร้อนอาหารเหลวก่อนทำแห้งยังเป็นการช่วยลดความชื้นและทำให้การปั่นฝอยมีประสิทธิภาพดีขึ้นอีกทั้งยังช่วยลดการอุดตันของอะตอมไมเซอร์ในหัวกระบวนการผลิต (Master, 1991)

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัยในกระบวนการทำแห้งแบบปั่นฝอยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงแห้ง โดยเฉพาะสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย หลังการทำแห้งด้วยวิธีนี้ ดังนั้นการที่จะผลิตผงสารสกัดจากชาที่มีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดีได้นั้น ต้องทราบสถานะที่เหมาะสมที่สุดของการทำแห้งแบบปั่นฝอยสำหรับสารสกัดจากชา ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนและปริมาณของแข็งในวัตถุดิบที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของการทำแห้งสารสกัดชาเขียวโดยวิธีอบแห้งแบบปั่นฝอยเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการพิจารณาเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการทำแห้งสารสกัดชาเขียวโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั่นฝอย

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. ชาเขียวอบแห้ง (สายพันธุ์อุหลงเบอร์12) ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทบุญรอดบริวเวอรี่
2. Folin-Ciocalteu (10% v/v) and gallic acid จากบริษัท Fluka (Buchs, Switzerland)
3. Anhydrous sodium carbonate and potassium hexacyanoferrate [$K_3Fe(CN)_6$] จากบริษัท Merck (Darmstadt, Germany)
4. Standard HPLC of caffeine and catechins จากบริษัท Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, USA)
5. Acetonitrile, trifluoroacetic acid (TFA) and methanol (HPLC-grade) จากบริษัท Fluka (Buchs, Switzerland)
6. Trolox ((±)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid) and DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) จากบริษัท Aldrich (Steinheim, Germany).
7. Monosodium phosphate monohydrate, Disodium phosphate heptahydrate and Trichloroacetic acid (TCA) จากบริษัท Fluka (Buchs, Switzerland)
8. กรดซิตริก (Food grade), น้ำกลั่น, กระดาษกรอง No 1 and No 4

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

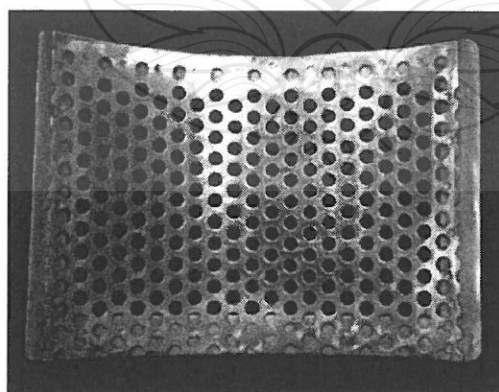
1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JMC-miniLAB spray dryer (จากบริษัท Euro Best Technology, Ltd., ประเทศไทย)
2. เครื่องสร้างไอน้ำแข็งรุ่น ICE STARS (จากบริษัท March Cool Industry Co.ltd, ประเทศไทย)
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (จากบริษัท March Cool Industry Co.ltd, ประเทศไทย)
4. เครื่องวัดสี Colorquest XE (จากบริษัท Hunter Associates Laboratory, Inc, USA)
5. เครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก (จากบริษัท Owner Food Machinery Co.ltd, ประเทศไทย)
6. Hand refractometer (1-32°Brix ATAGO Model N-2E, Japan)
7. Spectrophotometer, HPLC
8. เตาอบลมร้อน เครื่องบดแบบค้อน เครื่องชั่ง pH meter บั้มสุญญากาศ desiccators ผ้าขาวบาง เครื่องแก้ว

3.2 การบดตัวอย่างชาเขียวอุหลงเบอร์12

นำใบชาเขียวอุหลงเบอร์12 ที่ผ่านกระบวนการผลิตมาแล้วไปบดโดยใช้เครื่องบดแบบค้อน (ภาพที่ 3-1) โดยใช้ตะแกรงประกอบเครื่องที่มีขนาดช่องเปิดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3-2) การบดใบชาอบแห้งเป็นการลดขนาดของใบชาแห้งเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด



ภาพที่ 3-1 เครื่องบดแบบค้อน (Hammer mill)



ภาพที่ 3-2 ตะแกรงประกอบเครื่องบดที่มีขนาดช่องเปิด 5 มิลลิเมตร

3.3 การเตรียมสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลด

ก. ขั้นตอนการสกัด

สกัดชาเขียวอุณหภูมิลด 12 ที่ผ่านการบดด้วยน้ำที่ปรับพีเอชโดยใช้กรดซิตริกจนได้พีเอชเท่ากับ 5 โดยใช้ pH-meter ในการตรวจวัด (ภาพที่ 3-3) และอัตราส่วนของชาบดกับน้ำเท่ากับ 1000 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตรหรือคิดเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3-4) เวลาในการสกัด 60 นาที (Butsoongnern, 2006) รอจนกระทั่งครบเวลา กรองสารละลายที่ได้ผ่านผ้าขาวบางและกากที่เหลือนำไปบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิกเพื่อให้ปริมาณสารสกัดที่ตกค้างในกากใบชาให้น้อยที่สุด จากนั้นจึงเก็บสารสกัดที่ได้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อรอขั้นตอนต่อไป



(ก)



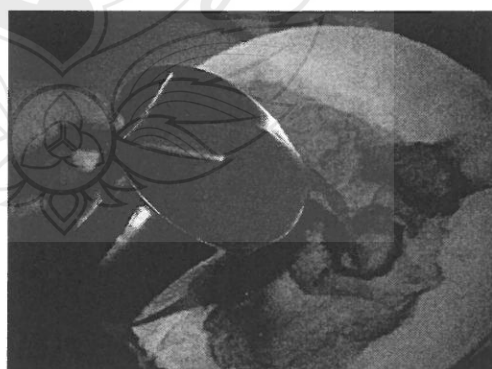
(ข)

ภาพที่ 3-3 (ก) การปรับพีเอชของน้ำให้เท่ากับ 5 โดยใช้กรดซิตริก (ใช้ pH-meter ในการตรวจวัด)

(ข) การต้มน้ำจนได้อุณหภูมิเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส (ใช้ thermo couple ในการตรวจวัด)

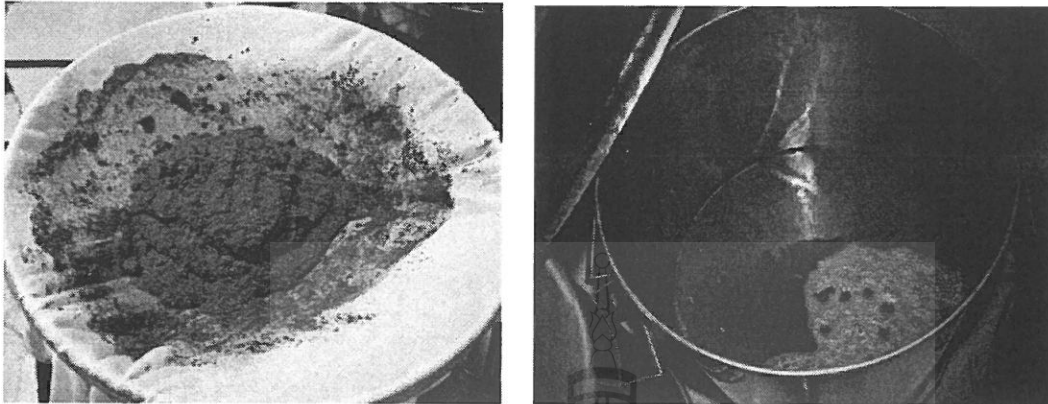


(ก)



(ข)

ภาพที่ 3-4 (ก) การเติมชาที่ผ่านการบดแล้วลงในน้ำที่ปรับพีเอชและปรับอุณหภูมิแล้ว (ข) การกรองสารสกัดที่ได้โดยใช้ผ้าขาวบาง



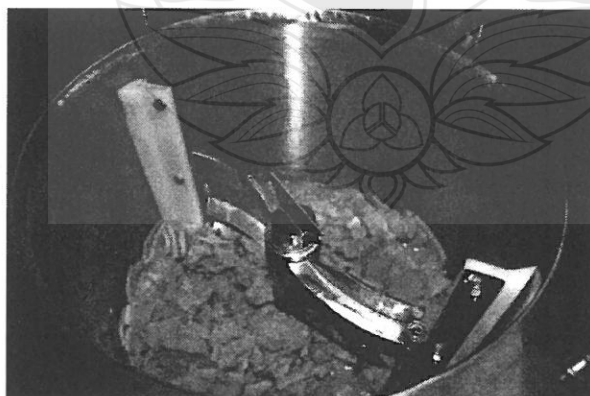
ภาพที่ 3-5 (ก) กากขาที่เหลือหลังจากการกรอง (ข) สารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบ 12

สารสกัดที่ได้จะถูกนำไปวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้โดยใช้ Hand refractometer และวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ข. ขั้นตอนการทำให้เข้มข้น

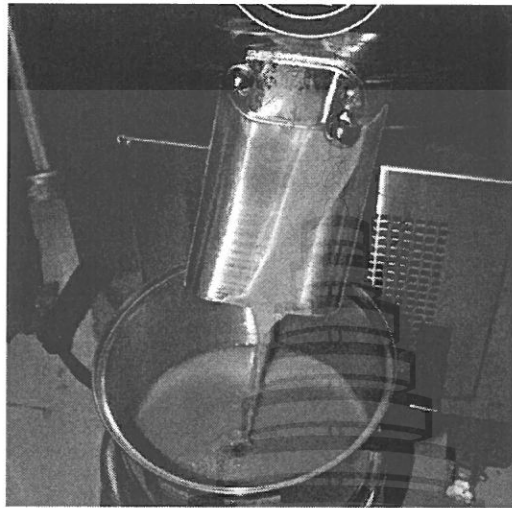
เนื่องจากสารสกัดที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้ามีของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ประมาณร้อยละ 1-2 ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดที่ได้ให้สูงขึ้นก่อนเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ในการทดลองนี้ได้ใช้กระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze concentration) ในการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดที่ได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ในมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงให้เป็นประโยชน์ ซึ่งขั้นตอนการทำให้เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็งมีวิธีการดังต่อไปนี้

ข.1 การทำให้เป็นน้ำแข็งโดยใช้เครื่องสร้างเกล็ดน้ำแข็งแบบมีใบกวน ICE STARS จนสารสกัดชาเขียวเกือบทั้งหมดกลายเป็นน้ำแข็ง (ภาพที่ 3-6)



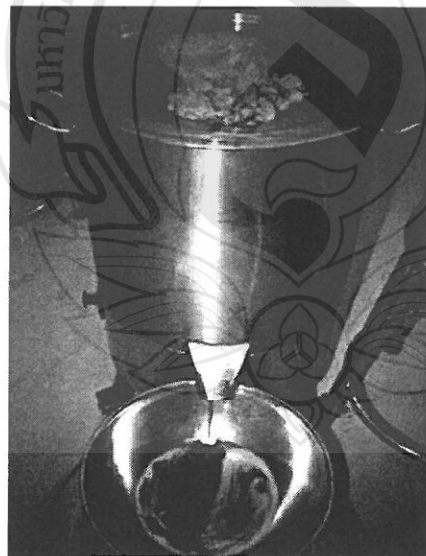
ภาพที่ 3-6 เกล็ดน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายในเครื่องสร้างเกล็ดน้ำแข็ง ICE STARS

ข.2 การแยกสารสกัดเข้มข้นออกจากน้ำแข็งโดยการเปิดช่องเปิดของเครื่องสร้างเกร็ดน้ำแข็งเพื่อให้สารละลายเข้มข้นไหลแยกออกมาจากน้ำแข็ง



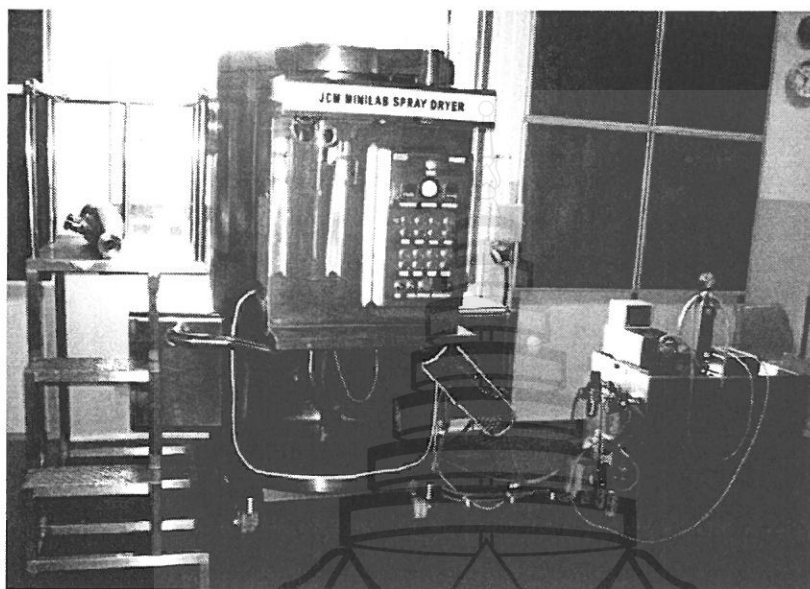
ภาพที่ 3-7 การแยกสารสกัดเข้มข้นออกจากน้ำแข็ง

ข.3 การปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารสกัดเข้มข้นที่ติดอยู่กับน้ำแข็งโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง



ภาพที่ 3-8 การปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารสกัดเข้มข้นที่ติดอยู่กับน้ำแข็ง

กระบวนการทำแห้งนั้นใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JCM MINILAB Spray dryer



ภาพที่ 3-10 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JCM MINILAB Spray dryer

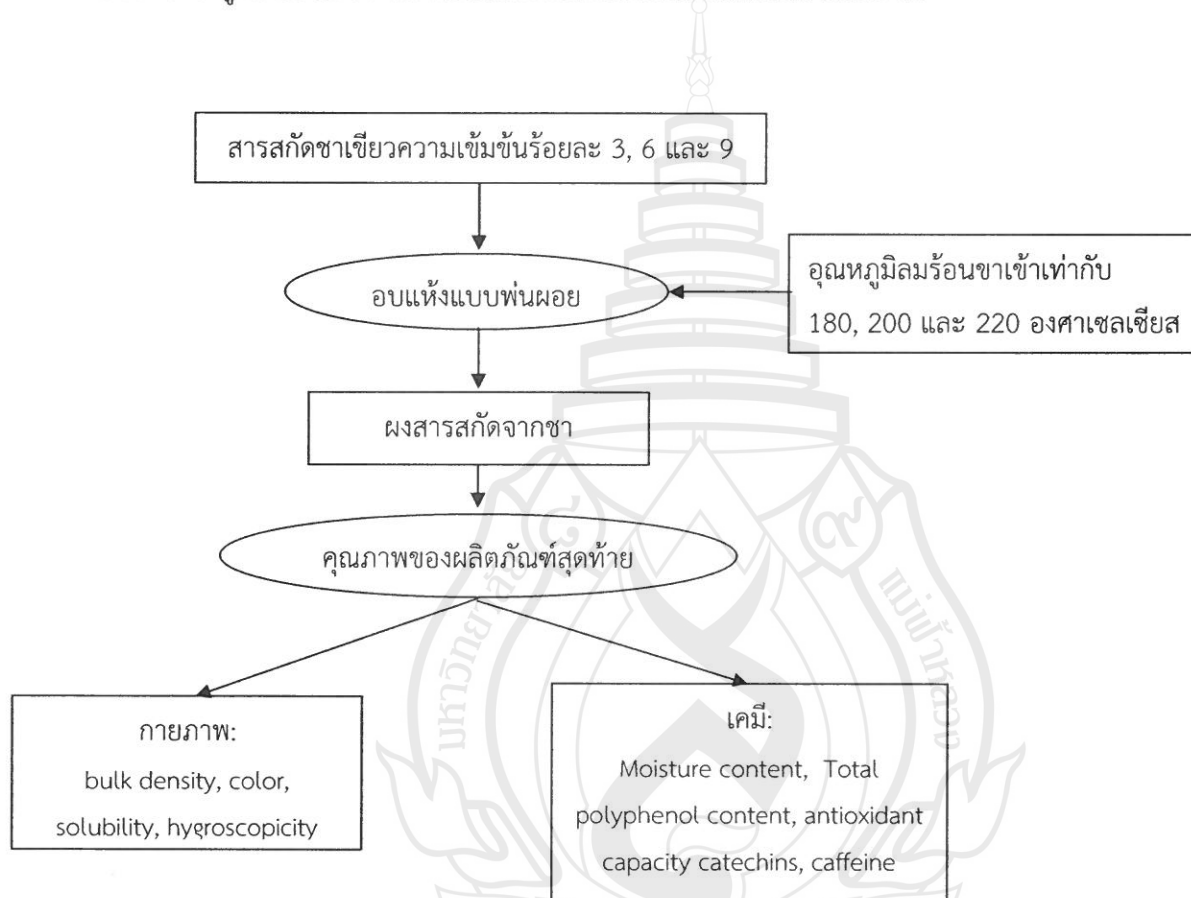
3.4.1 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบ Two factors factorial design โดยที่ทั้งอุณหภูมิและความเข้มข้นของวัตถุดิบแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ค่าสังเกตคือสมบัติทางเคมีและกายภาพ การออกแบบการทดลองเป็นแบบ 3x3 full factorial design ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่ละหน่วยการทดลองทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

ตารางที่ 3-1 หน่วยการทดลอง (Treatment of the experiment)

Concentration (% T.S.)	Temperature (°C)		
	180	200	220
3	Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁
6	Y ₁₂	Y ₂₂	Y ₃₂
9	Y ₁₃	Y ₂₃	Y ₃₃

สารสกัดจากชาเขียวที่ผ่านการทำให้เข้มข้นแล้วที่ระดับของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3, 6 และ 9 ตามลำดับ จะถูกนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สภาวะในการทำแห้งดังนี้ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาออกเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วของพัดลมดูดอากาศเท่ากับ 2,500 รอบต่อนาที ผลิตภัณฑ์ผงสารสกัดจากชาเขียวที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพต่อไปดังแสดงในภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 ขั้นตอนในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.4.2 การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสกัดชาเขียว

ผงสารสกัดจากชาเขียวที่ได้ในแต่ละสภาวะจะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ และนำผลดังกล่าวมาวิเคราะห์ในทางสถิติเพื่อพิจารณาผลของสภาวะการทำแห้งที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพต่อไป (Data analysis performed with the application of SPSS software. Mean value were compared using The Duncan's Multiple Range Test.)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสกัดชาเขียว

ก. การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content)

สกัดโพลีฟีนอลจากผงสกัดชาโดยชั่งตัวอย่างผงสกัดชาเขียวประมาณ 2 กรัม สกัดด้วยน้ำเดือดปริมาตร 250 ml เป็นเวลา 10 นาที นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง ทำการเจือจางและวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดตามวิธี Colorimetric methods using Folin-Ciocalteu reagent (ISO 14502-1:2005) ผสมสารละลายตัวอย่าง 1.0 มล. กับ 5.0 มล. ของ Folin-Ciocalteu reagent (10%v/v) เติม 4.0 มล. ของ 7.5%w/v sodium carbonate ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm เทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 0-100 µg/ml รายงานผลในรูปกรัมของ Gallic Acid Equivalent (GAE) ต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง

ข. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณคาเทชิน (catechins content)

สกัดคาเทชินจากผงสกัดชาโดยชั่งตัวอย่างผงสกัดชาเขียวประมาณ 2 กรัม สกัดด้วยน้ำเดือดปริมาตร 250 ml เป็นเวลา 10 นาที นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง เจือจางสารละลายชาสกัด นำไปกรองผ่าน PTFE Syringe filter นำไปฉีด (10 µl) เข้าเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) ตามวิธี ISO 14502-2:2005 ทำการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Platinum EPS C18 53x7 mm อุณหภูมิ 30°C อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ 2.0 ml/min เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วย 87:13 %v/v ของ 0.05%trifluoro acetic acid และ acetonitrile ตรวจวัดด้วย DAD ที่ความยาวคลื่น 210 nm หาปริมาณโดยเทียบกับสารมาตรฐาน 8 ชนิด ได้แก่ (-)-Epigallocatechin-3-gallate (EGCG), (-)-Epigallocatechin (EGC), (-)-Epicatechin-3-gallate (ECG), (-)-Epicatechin (EC) (-)-Gallocatechin (GC), (+)-Catechin (C), (-)-Gallocatechin gallate (GCG) และ (-)-Catechin gallate (CG)

ค. การวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีน (caffeine content)

สกัดคาเทชินจากผงสกัดชาโดยชั่งตัวอย่างผงสกัดชาเขียวประมาณ 2 กรัม สกัดด้วยน้ำเดือดปริมาตร 250 ml เป็นเวลา 10 นาที นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง เจือจางสารละลายชาสกัด นำไปกรองผ่าน PTFE Syringe filter นำไปฉีด (10 µl) เข้าเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) ตามวิธี ISO 14502-2:2005 ทำการวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ Platinum EPS C18 53x7 mm อุณหภูมิ 30°C อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ 2.0 ml/min เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วย 87:13 %v/v ของ 0.05%trifluoro acetic acid และ acetonitrile ตรวจวัดด้วย DAD ที่ความยาวคลื่น 210 nm หาปริมาณโดยเทียบกับสารมาตรฐานคาเฟอีน

ง. การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (solubility) (Sanphakdee, 2007)

ชั่งตัวอย่างผงสกัดชาเขียว 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสปริมาตร 50 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 80 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผสมด้วย magnetic stirrer ขนาด 2x7 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วรอบ 600 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นกรองสารละลายที่ได้ผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 โดยใช้ปั๊มสุญญากาศเข้าช่วย จากนั้นจึงนำกระดาษกรองพร้อมของแข็งที่ไม่ละลายไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 ± 2 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ความสามารถในการละลายคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Solubility}(\%) = \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m}\right) \times 100$$

m_1 คือน้ำหนักของกระดาษกรองพร้อมของแข็งที่ไม่ละลายหลังการอบแห้ง

m_2 คือน้ำหนักกระดาษกรองเปล่าแห้งและ m คือน้ำหนักของผงสกัดชาเขียวตัวอย่าง

จ. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 2000)

Moisture content of the sample was determined according to the oven method. The moisture can was cleaned and dried in hot air oven for 12 hr, then cooled in desiccators and the weight which was measured by digital balance was recorded. The sample was weighed and placed into the moisture can then dried in a hot air oven at 105°C overnight until the weight was constant. The can containing sample was cooled in a dessicators. The weight of the can and sample was determined by using digital balance. The weight of dried sample was also calculated to determined its moisture content.

$$\% \text{ M. C. (wet basis)} = \frac{\text{sample weight (g)} - \text{dried sample weight (g)}}{\text{sample weight}} \times 100$$

$$\% \text{ M. C. (dry basis)} = \frac{\text{sample weight (g)} - \text{dried sample weight (g)}}{\text{dried weight}} \times 100$$

ฉ. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระโดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ Sartorius รุ่น MMA30

ข. การวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นรวม (bulk Density) (Bhandari et al., 1992)

เป็นการทดสอบเพื่อทราบขนาดอนุภาคของผงสกัดชาเขียว ผงสกัดชาเขียวที่มีขนาดอนุภาคหยาบจะมีปริมาตรมากกว่าที่มีขนาดอนุภาคละเอียด ดังนั้นผงสกัดชาเขียวที่มีขนาดอนุภาคหยาบจะมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าที่มีขนาดอนุภาคละเอียด ซึ่งตัวอย่างผงสกัดชาเขียวมา 20 กรัม ใส่ในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร กระแทกกระบอกตวง 10 ครั้งบนพื้นที่มีฝารอง โดยยกกระบอกตวงสูงจากพื้น 150 มิลลิเมตร อ่านค่าความหนาแน่นออกมาเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ค. การวิเคราะห์ค่าสี (color analysis) (Quek et al., 2007)

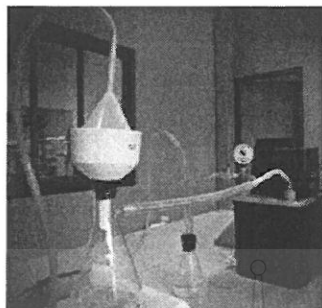
วิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสีรุ่น ColorQuestXE/Hunter Lab (USA)

ง. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity)

Antioxidant capacity (DPPH free radical scavenging activity) was determined with DPPH scavenging activity and slightly modification according method by Talcott et al 2003. Pipette extracted sample 50 μ l through test tubes, then add with 1950 μ l of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil (DPPH) methanolic solution. The mixture is thoroughly vortex-mixed and kept in dark for 30 min. The absorbance is measured later, at 517 nm. A calibration curve was prepared using a standard solution of Trolox (0, 200, 400, 600, 800, 1000 μ M) and the results were expressed on both fresh weight basis (fw) and dry weight basis (dw) as mmol Trolox Equivalent/100g.

จ. การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) (Jaya and Das 2004, modification)

A saturated solution of potassium nitrite salt (equilibrium relative humidity = 79.5 $\pm$ 2% at 20 $^{\circ}$ C) was kept in glass wash bottle having two passage for air inlet and outlet. A diaphragm type vacuum pump was used to suck the air through the salt solution. Take filter paper in pump and weigh it until constant, then add powder sample 0.5 g and it was spread uniformly in the filter paper. The increase in weight of the sample at every 15 min was noted. This measurement was continued till the difference between two successive weightings did not exceed by 0.5%. The entire operation was carried out in a room maintained at 20 $^{\circ}$ C.



ภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ค่า hygroscopicity

The hygroscopicity, HG (%) was calculated by using equation as following.

$$\text{Hygroscopicity} = \frac{\frac{b}{a} + \frac{W_i}{100}}{1 + \frac{b}{a}}$$

Where b (g) is the increase in weight of powder, a (g) weight of powder sample, and W_i (%wb) is moisture content of powder.

ฏ. การคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้ (Product recovery yield) (Sanphakdee, 2007)

Product recovery is mainly determined by powder collection efficiency. Material loss in a spray drying system is due mostly to the attachment of sprayed droplets and dry powder to the wall of the apparatus and the cyclone's poor efficiency in collecting fine particle.

Product recovery was calculated from the total solid content that determined from moisture content that heat in the oven at $103 \pm 2^\circ\text{C}$ for 6 hours.

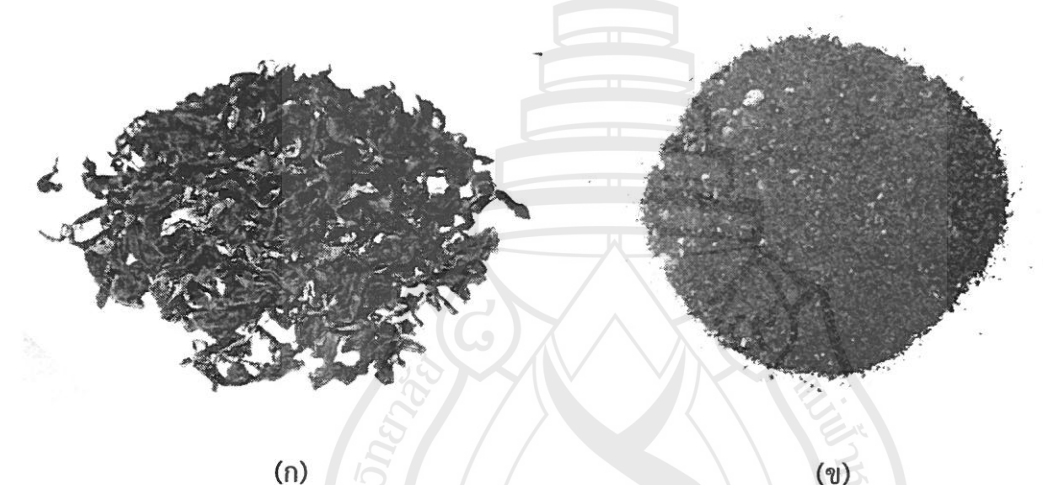
$$\text{Product Recovery} = \frac{a}{b \times \left(\frac{c}{100}\right)} \times 100\%$$

Where a (g) is weight of powder product, b (ml) is volume of feed, and c (total solid content of tea extract concentrated).

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของชาเขียวอู่หลงเบอร์12

ในการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างชาเขียวอู่หลงเบอร์12 (*Camellia sinensis* var. Oolong No.12) ที่ได้จากไร่บุญรอดจังหวัดเชียงรายดังแสดงในภาพที่ 4-1(ก) จากนั้นทำการบดโดยใช้เครื่องบดแบบค้อน (Hammer mill) และใช้ตะแกรงร่อนประกอบเครื่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ผลิตรกษณ์ที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 4-1 (ข)



ภาพที่ 4-1 (ก) ชาเขียวอู่หลงเบอร์12 (*Camellia sinensis* var. Oolong No.12) (ข) ชาเขียวอู่หลงเบอร์12 ที่ผ่านการบดแล้ว

องค์ประกอบทางเคมีของชาเขียวอู่หลงเบอร์12 ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ อาทิ ปริมาณความชื้น (moisture content) ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenol content) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) และปริมาณสารคาเฟอีน (caffeine content) แสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของชาเขียวอู่หลงเบอร์12

Chemical Composition	Amount
Moisture content	$6.05 \pm 0.06\%$ w/w wb
Total polyphenol	$14.98 \pm 0.42\%$ db
Antioxidant capacity	$141,500.81 \pm 6877$ mmol Trolox/100 g db
Caffeine content	2.77 ± 0.23 g/100 g db
Catechin content	12.04 ± 1.20 g/100 g db

4.2 การเตรียมสารสกัดจากชาเขียว (Preparation of tea extract)

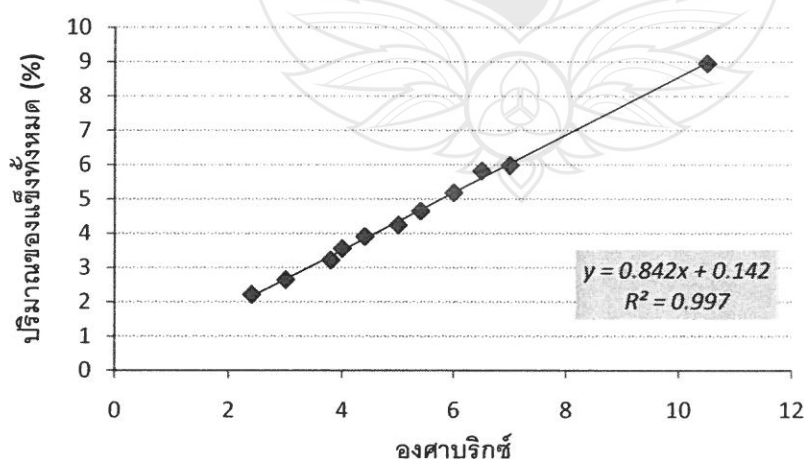
4.2.1 ขั้นตอนการสกัด (Extraction)

ในการเตรียมสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส โดยทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำที่ปรับพีเอชโดยใช้กรดซิตริกจนได้พีเอชเท่ากับ 5 และอัตราส่วนของชาต่อน้ำเท่ากับ 1000 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตรหรือคิดเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 60 นาที และกรองสารสกัดที่ได้ผ่านผ้าขาวบาง โดยผลวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาที่ได้เท่ากับร้อยละ 2.02 โดยน้ำหนัก

4.2.2 การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration)

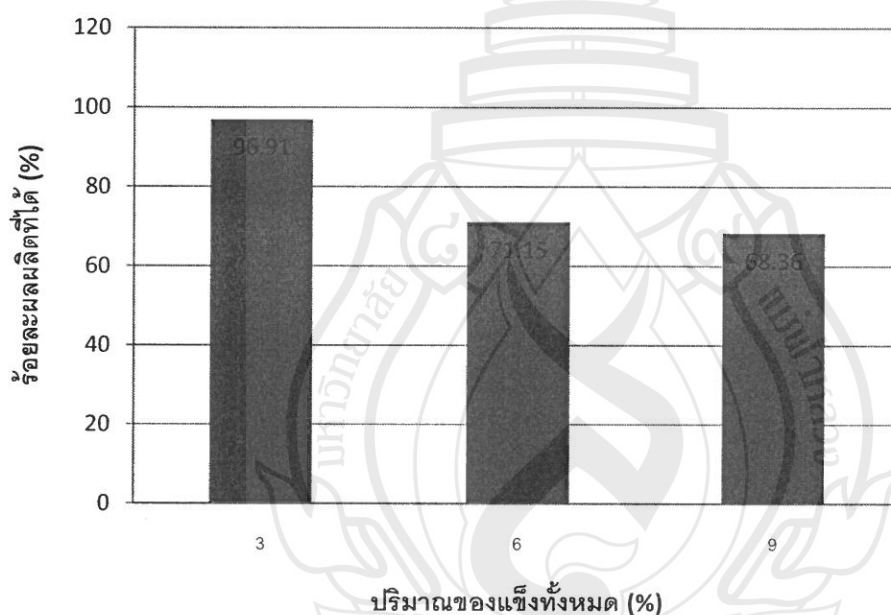
ในการศึกษาครั้งนี้ใช้กระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze concentration) โดยใช้เครื่องสร้างเกร็ดน้ำแข็งแบบมีใบกวน จนสารสกัดชาเขียวเกือบทั้งหมดกลายเป็นน้ำแข็ง จากนั้นแยกสารสกัดเข้มข้นออกจากน้ำแข็งโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge machine) เพื่อแยกส่วนของสารสกัดเข้มข้นที่เป็นของเหลวออกจากน้ำที่เป็นของแข็ง

สารสกัดชาเขียวเข้มข้นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) และหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (total soluble solid) โดยใช้ Hand Refractometer เพื่อสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองดังกล่าว ซึ่งกราฟที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการติดตามความเข้มข้นของสารสกัดระหว่างกระบวนการทำให้เข้มข้น เนื่องจากหากใช้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) ต้องทำการอบตัวอย่างในเตาอบและใช้เวลาในการวิเคราะห์มาก จึงใช้วิธีการหาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand Refractometer ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและใช้เวลาน้อย จากนั้นจึงแปลงค่าดังกล่าวมาเป็นปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยใช้ความสัมพันธ์จากภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดกับค่าองศาบริกซ์

ข้อเสียของการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งเมื่อเทียบกับการทำให้เข้มข้นโดยวิธีระเหยน้ำและการทำให้เข้มข้นแบบวิธีรีเวอร์สออสโมซิสคือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง และมีการสูญเสียในระหว่างการแยกน้ำแข็งออกจากสารสกัดเข้มข้น(Helman และคณะ 1992) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้จากกระบวนการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งดังแสดงในภาพที่ 4-3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ระดับปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในขั้นตอนการแยกน้ำแข็งออกจากสารสกัดเข้มข้นนั้นเราไม่สามารถแยกน้ำแข็งและสารสกัดเข้มข้นออกจากกันได้ทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในสารสกัดที่ระดับปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงก็จะส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ปะปนกับน้ำแข็งดังกล่าวเพิ่มปริมาณสูงด้วยซึ่งจะทำให้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ลดลง



ภาพที่ 4-3 ร้อยละผลผลิตที่ได้ของสารสกัดชาเขียวเข้มข้นที่ผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งที่ระดับร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่างๆ

4.3 ผลของกระบวนการที่มีต่อสมบัติทางเคมีของสารสกัดชาเขียว

ขั้นตอนแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตล้วนส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ในกระบวนการผลิตผงสารสกัดชาเขียวในงานวิจัยนี้ต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการสกัดด้วยน้ำร้อน การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงผลของแต่ละขั้นตอนดังกล่าวที่มีต่อผลิตภัณฑ์ จึงต้องทำการศึกษาผลของขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่มีต่อสมบัติทางเคมีของสารสกัดชาเขียว เช่น ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณสารคาเทชิน ปริมาณ

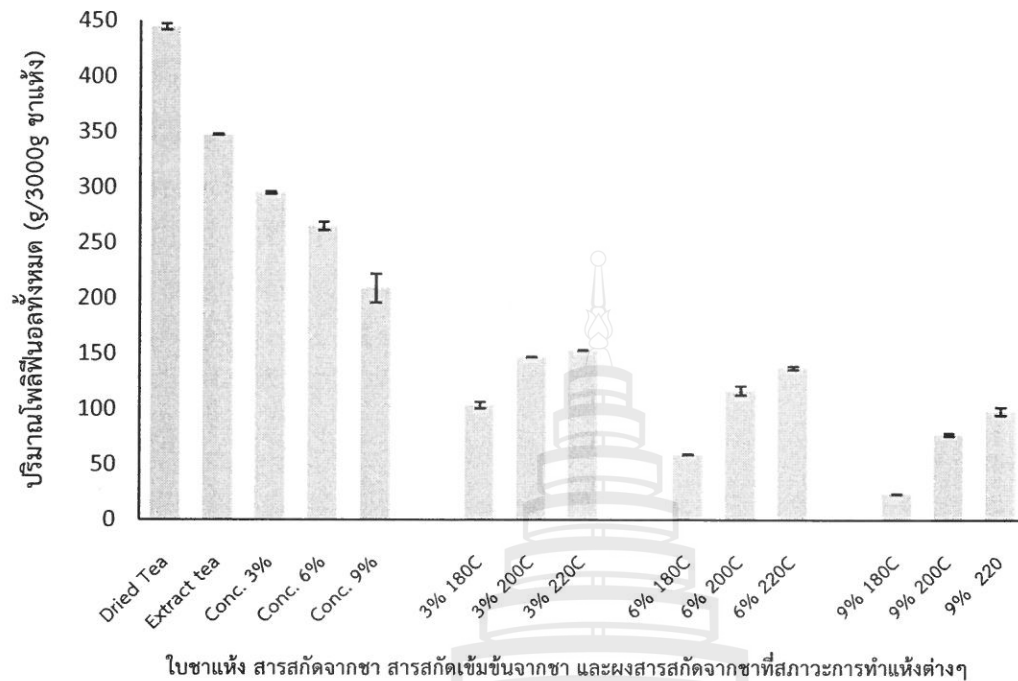
คาเฟอีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากการทดลองพบว่าปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณสารคาเทชิน ปริมาณคาเฟอีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับใบชาแห้งเริ่มต้น 3,000 กรัม หลังจากผ่านขั้นตอนการสกัด การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งแบบพ่นฝอยดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบชาเขียวและสารสกัดชาเขียวหลังผ่านขั้นตอนการสกัด การทำให้เข้มข้น และการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตัวอย่าง		TPC (g/3000g dried tea)	Catechin (g/3000g dried tea)	Caffeine (g/3000g dried tea)	Antioxidant Capacity (mol/3000g dried tea)
ใบชาแห้ง		444.45 ± 2.76 ^a	339.21 ± 34.08 ^a	82.58 ± 6.38 ^a	4.08 ± 0.05 ^a
สารสกัดจากชา		347.48 ± 0.43 ^b	268.65 ± 0.44 ^b	62.59 ± 0.11 ^b	3.65 ± 0.17 ^b
สารสกัดชา เข้มข้น	3%	295.06 ± 0.96 ^c	225.23 ± 0.32 ^c	53.99 ± 0.00 ^c	3.28 ± 0.01 ^c
	6%	264.95 ± 3.75 ^d	172.69 ± 1.12 ^d	41.02 ± 0.54 ^d	2.74 ± 0.01 ^d
	9%	208.87 ± 13.01 ^e	146.21 ± 2.63 ^e	33.22 ± 1.89 ^e	1.74 ± 0.09 ^e
ผงสารสกัด จากชา	3% 180°C	103.61 ± 2.87 ⁱ	73.74 ± 1.56 ^{g,h}	18.18 ± 0.14 ^{h,i}	0.38 ± 0.01 ^h
	3% 200°C	146.96 ± 0.19 ^f	113.19 ± 2.27 ^{f,g}	27.25 ± 1.36 ^{f,g}	0.59 ± 0.02 ^f
	3% 220°C	153.07 ± 0.20 ^f	130.26 ± 12.85 ^{e,f}	31.60 ± 2.66 ^{e,f}	0.61 ± 0.00 ^f
	6% 180°C	59.06 ± 0.33 ⁱ	39.76 ± 1.58 ⁱ	9.53 ± 1.01 ^j	0.53 ± 0.01 ⁱ
	6% 200°C	116.94 ± 3.96 ^h	75.00 ± 5.81 ^{g,h}	19.54 ± 1.43 ^h	0.46 ± 0.00 ^{g,h}
	6% 220°C	137.26 ± 1.56 ^g	93.74 ± 0.97 ^g	24.63 ± 0.75 ^g	0.53 ± 0.01 ^{f,g}
	9% 180°C	23.72 ± 0.17 ^m	17.74 ± 0.07 ^j	4.12 ± 0.49 ^k	0.01 ± 0.00 ^j
	9% 200°C	77.34 ± 1.37 ^j	58.41 ± 2.23 ^{h,i}	14.32 ± 0.61 ⁱ	0.31 ± 0.01 ^{h,i}
	9% 220°C	98.3 ± 3.63 ⁱ	68.64 ± 2.62 ^h	17.45 ± 0.58 ^{h,i}	0.40 ± 0.03 ^h

¹ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จำนวนตัวอย่าง=2)

² ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงการแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) .



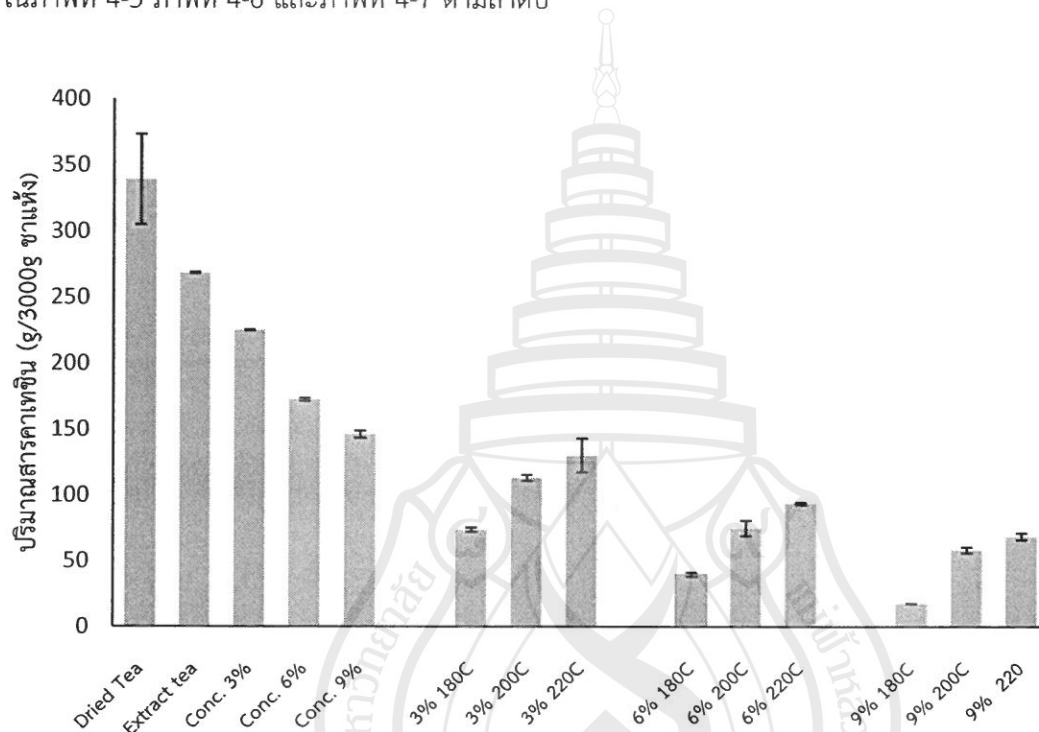
ภาพที่ 4-4 ปริมาณสารโพลีฟีนอลในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม

หมายเหตุ :

- Dried Tea คือ ใบชาแห้ง
- Extract tea คือ สารสกัดจากชา
- Conc. 3% Conc. 6% และ Conc. 9% คือสารสกัดจากชาที่ผ่านการทำให้เข้มข้นโดยที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3, 6 และ 9 ตามลำดับ
- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

จากภาพที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดชาเขียวลดลงในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต เริ่มต้นจากขั้นตอนการสกัดเนื่องจากในกระบวนการสกัดเป็นการสกัดโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนส่งผลทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารโพลีฟีนอล ขั้นตอนต่อไปคือการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง และการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยตามลำดับ ซึ่งการลดลงของสารโพลีฟีนอลในทุกขั้นตอนส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียอันเนื่องมาจากร้อยละผลผลิตที่ได้ในแต่ละขั้นตอนซึ่งเราไม่สามารถที่จะทำให้อัตราผลผลิตที่ได้ในแต่ละขั้นตอนได้เท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งจากการคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้ก่อนหน้านี้ (ภาพที่ 4-3) ถ้าระดับปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้จะลดลง ดังนั้นจึงส่งผลต่อปริมาณสารโพลีฟีนอลในสาร

สกัดชา นั่นคือที่ระดับปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงด้วย ทั้งนี้การลดลงของปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดอีกส่วนหนึ่งก็เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของขั้นตอนในการแปรรูปซึ่งส่งผลให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลลดลงในทุกขั้นตอน ในกรณีของปริมาณสารคาเทชิน ปริมาณสารคาเฟอีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4-5 ภาพที่ 4-6 และภาพที่ 4-7 ตามลำดับ

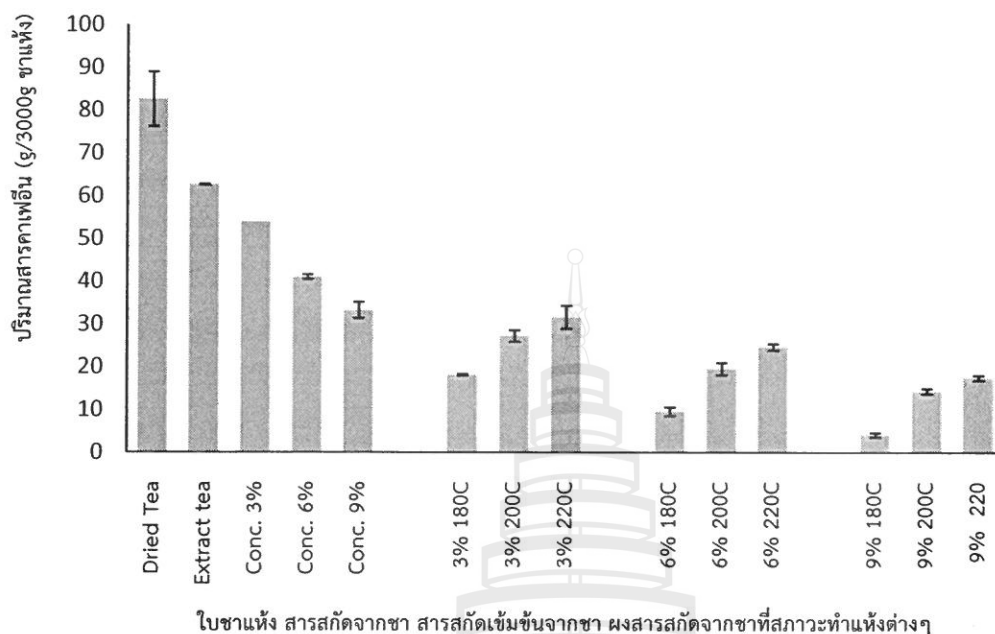


ใบชาแห้ง สารสกัดจากชา สารสกัดเข้มข้นจากชา ผงสารสกัดจากชาที่สภาวะทำแห้งต่างๆ

ภาพที่ 4-5 ปริมาณสารคาเทชินในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม

หมายเหตุ :

- Dried Tea คือ ใบชาแห้ง
- Extract tea คือ สารสกัดจากชา
- Conc. 3% Conc. 6% และ Conc. 9% คือสารสกัดจากชาที่ผ่านการทำให้เข้มข้นโดยที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3, 6 และ 9 ตามลำดับ
- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ



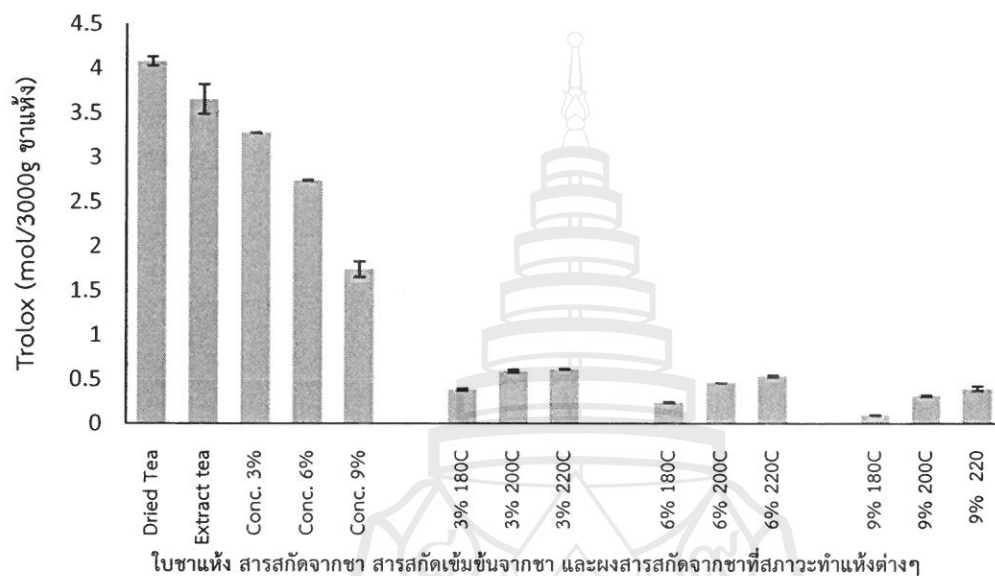
ภาพที่ 4-6 ปริมาณสารคาเฟอีนในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม

หมายเหตุ :

- Dried Tea คือ ใบชาแห้ง
- Extract tea คือ สารสกัดจากชา
- Conc. 3% Conc. 6% และ Conc. 9% คือสารสกัดจากชาที่ผ่านการทำให้เข้มข้นโดยที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3, 6 และ 9 ตามลำดับ
- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าผงสารสกัดจากชาเขียวที่ผลิตจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 และอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 220 องศาเซลเซียสได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารสำคัญสูงสุด สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารสำคัญต่ำที่สุดคือสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 และอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 180 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสารสกัดจากชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้น้อยลงจึงส่งผลต่อปริมาณสารสำคัญที่คงค้างน้อยด้วย ในกรณีของอุณหภูมิความร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าถึงแม้ว่าความร้อนอาจจะทำให้เกิดการเสื่อมสลายขององค์ประกอบทางเคมี แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งไวและใช้เวลาในการ

ทำแห้งที่สั้นกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ (Martin และคณะ 1992) อีกทั้งการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ต่ำกว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ไม่แห้งสนิทเกาะติดที่ผนังของห้องอบแห้งจึงส่งผลให้ร้อยละผลผลิตที่ได้ลดลงและส่งผลสืบเนื่องไปยังปริมาณสารสำคัญที่เหลืออยู่ลดลงด้วย



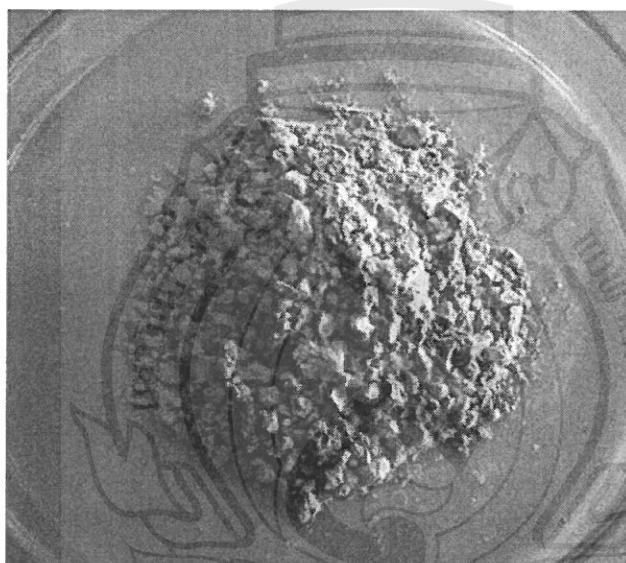
ภาพที่ 4-7 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูปของ Trolox equivalent ในตัวอย่างเทียบกับวัตถุดิบใบชาแห้ง 3,000 กรัม

หมายเหตุ :

- Dried Tea คือ ใบชาแห้ง
- Extract tea คือ สารสกัดจากชา
- Conc. 3% Conc. 6% และ Conc. 9% คือสารสกัดจากชาที่ผ่านการทำให้เข้มข้นโดยที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3, 6 และ 9 ตามลำดับ
- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

4.4 ผลของสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวอุ้งหลง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตผงสารสกัดชาเขียวโดยนำใบชาแห้งมาสกัดด้วยน้ำร้อนจากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งและปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารสกัดเข้มข้นและน้ำแข็งออกจากกันและในขั้นตอนสุดท้ายคือการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JCM MINILAB Spray dryer ซึ่งในการทดลองใช้อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (inlet air temperature) อยู่ในช่วง 180 ถึง 220 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิอากาศขาออก (outlet air temperature) ให้อยู่ที่ 75 องศาเซลเซียสพบว่า และสารสกัดชาเข้มข้นมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 3 ถึง 9 หลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ผงสารสกัดชาเขียวดังแสดงในภาพที่ 4-8 และผลวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพแสดงในตารางที่ 4-3 และ ตารางที่ 4-4



ภาพที่ 4-8 ผงสารสกัดชาเขียวอุ้งหลงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JCM MINILAB Spray dryer

4.4.1 สมบัติทางกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวอุ้งหลง

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวอุ้งหลงหลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 สมบัติทางกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวอุหลง

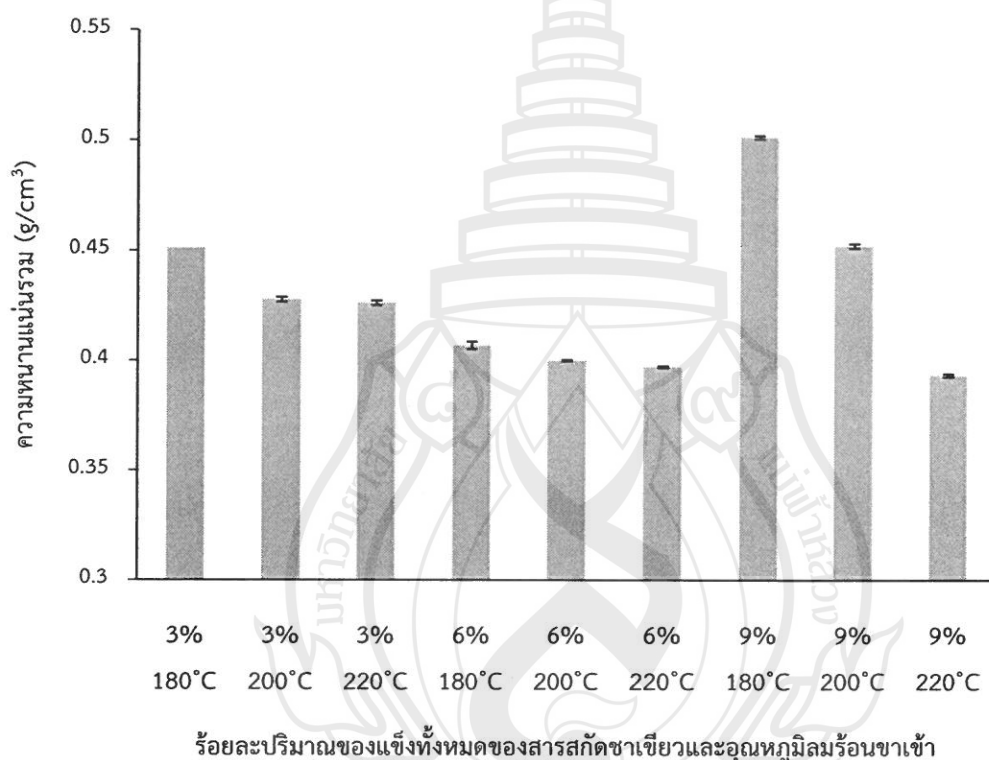
ร้อยละของปริมาณ ของแข็งทั้งหมด	อุณหภูมิความร้อน (องศาเซลเซียส)	Bulk Density (g/cm ³)	L	a	b	Solubility (%db)	Hygroscopicity (%)
3	180	0.4511 ± 0.0050 ^b	71.95 ± 0.03 ^d	3.50 ± 0.07 ^f	30.08 ± 0.24 ^f	79.67 ± 0.85 ^c	17.84 ± 1.16 ^a
	200	0.4278 ± 0.0011 ^c	70.89 ± 0.22 ^e	4.15 ± 0.03 ^d	33.56 ± 0.45 ^b	78.64 ± 0.04 ^c	15.75 ± 0.45 ^b
	220	0.4262 ± 0.0011 ^c	71.14 ± 0.29 ^e	3.86 ± 0.09 ^e	31.97 ± 0.62 ^c	80.03 ± 0.04 ^c	8.84 ± 0.33 ^e
6	180	0.4069 ± 0.0017 ^d	68.07 ± 0.23 ^f	4.91 ± 0.04 ^c	34.05 ± 0.47 ^b	77.65 ± 0.17 ^{c,d}	15.94 ± 0.22 ^d
	200	0.4000 ± 0.0003 ^e	72.42 ± 0.68 ^d	4.14 ± 0.12 ^d	31.20 ± 0.69 ^d	75.56 ± 1.02 ^d	12.69 ± 1.02 ^c
	220	0.3972 ± 0.0004 ^e	73.05 ± 0.31 ^c	4.13 ± 0.01 ^d	30.65 ± 0.06 ^d	75.56 ± 0.34 ^d	10.87 ± 0.52 ^b
9	180	0.5014 ± 0.0008 ^a	70.38 ± 0.15 ^e	5.79 ± 0.08 ^a	37.37 ± 0.08 ^a	89.54 ± 0.22 ^{a,b}	16.56 ± 0.56 ^{a,b}
	200	0.4522 ± 0.0010 ^b	74.41 ± 0.08 ^a	5.42 ± 0.15 ^b	37.31 ± 0.51 ^a	87.96 ± 0.54 ^b	12.37 ± 1.29 ^c
	220	0.3933 ± 0.0007 ^f	73.81 ± 0.1 ^b	4.87 ± 0.02 ^c	34.31 ± 0.30 ^b	91.17 ± 1.12 ^a	12.52 ± 0.32 ^c

¹ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จำนวนตัวอย่าง=3)

² ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงการแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) .

4.4.1.1 ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของผงสารสกัดชาเขียว

ความหนาแน่นรวมคือน้ำหนักของวัสดุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นรวมเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของวัสดุเทกอง (bulk material) ซึ่งมักจะมีลักษณะเป็นผง เกล็ด หรือ เมล็ด ซึ่งเป็นค่าที่สามารถบอกได้ว่าวัสดุชนิดนี้มีความฟูหรือเบามากหรือน้อย เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาวิธีการลำเลียงหรือการบรรจุวัสดุประเภทนี้ ต้องควบคุมการฟุ้งกระจายและการจัดเรียงตัวให้เหมาะสมหรือไม่ ค่าความหนาแน่นรวมของผงสารสกัดชาเขียวที่สภาวะต่างๆ แสดงในภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของผงสารสกัดชาเขียวอยู่หลังที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ความหนาแน่นรวมของผงสารสกัดชาเขียวอยู่ในช่วง $0.3933-0.5014 \text{ g/cm}^3$ ซึ่งค่านี้ใกล้เคียงกับผงชาสำเร็จรูปที่ใช้เทคนิคเดียวกันนี้ในการผลิตคือ $0.298-0.450 \text{ g/cm}^3$ (Nadeem และคณะ 2011) ความหนาแน่นรวมของผงสารสกัดชาลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นอัตราการระเหยน้ำก็จะสูงขึ้นไปด้วยส่งผลให้อนุภาคของผงสารสกัดชาที่มีความเป็นรูพรุนสูง การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ลดลงและทำให้อนุภาคมีความเป็นรูพรุนสูงขึ้น (Walton 2000) ทั้งนี้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ผงก็ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์ด้วยนั่นคือผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงก็จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Chegini และ Ghobadian 2005)

4.4.1.2 สี (color) ของผงสารสกัดชาเขียว

สีเป็นคุณลักษณะสำคัญประการหนึ่งของอาหาร ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าสีของผงสารสกัดชาเขียวโดยใช้เครื่องวัดสี Colorquest XE (Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) ซึ่งวัดค่าออกมาในรูปของค่า L , a และ b โดยที่ค่า L บ่งบอกถึงความสว่าง (brightness) ของตัวอย่างซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) ค่า a บ่งแสดงถึงส่วนผสมของสีแดงและเขียว ค่า $+a$ บ่งบอกความเป็นสีแดงซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ค่า $-a$ บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียวซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง -80 ค่า b แสดงถึงส่วนผสมของสีเหลืองและน้ำเงิน ค่า $+b$ บ่งบอกความเป็นสีเหลืองซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 70 ค่า $-b$ บ่งบอกความเป็นสีน้ำเงินซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง -70 (Francis 1996) ค่าสีของผงสารสกัดชาเขียวอยู่หลังแสดงดังในภาพที่ 4-10

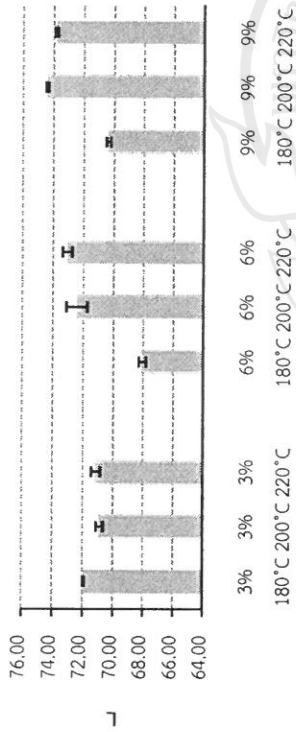
Nadeem (2011) กล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเพิ่มขึ้นค่า L จะลดลงแต่ค่า b จะเพิ่มขึ้นนั่นคือสีของอาหารผงจะมีความสว่างลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น แต่ผลที่ได้จากการทดลองนี้ (ภาพที่ 4-10 ก.) ต่างออกไปคือค่า L ของผงสารสกัดชาเขียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิลมร้อนเข้าเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ระดับปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 3 เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าสูงขึ้นส่งผลให้ค่า L ลดลง ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากการที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าต่ำใช้เวลาในการทำแห้งที่นานกว่าซึ่งทำให้ผงสารสกัดชาเขียวที่อยู่ในภาชนะรองรับหลังจากออกจากห้องอบแห้งซึ่งมีลมร้อนจากไซโคลนหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลาทำให้ผงสารสกัดชาเขียวสัมผัสกับอากาศร้อนนานจึงส่งผลต่อสีทำให้ความสว่างลดลง

ค่า a และค่า b (ภาพที่ 4-10 ข. และ ภาพที่ 4-10 ค.) ค่าทั้งสองค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าเพิ่มขึ้นแสดงว่าหากใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้าต่ำลงจะส่งผลให้เกิดผลสารสกัดชาเขียวมีความเป็นสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งต่ำจะทำให้เวลาในการทำแห้งนานกว่าจึงทำให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับความชื้นและอากาศนานขึ้นส่งผลให้เร่งเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ และเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่าส่งผลให้ค่า a และ b

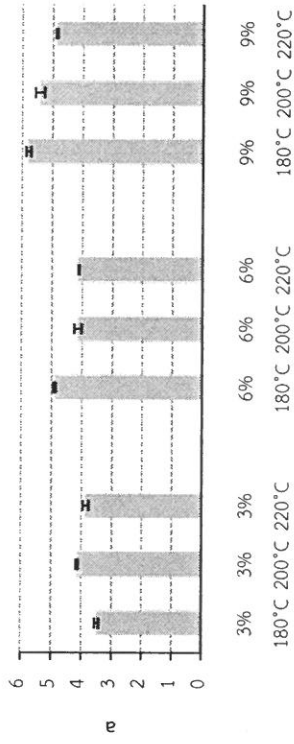
เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งนี้สาเหตุที่ผลิตภัณฑ์มีความเป็นสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากในขั้นตอนการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งหากต้องการปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงขึ้นต้องใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานขึ้นทำให้สารสกัดสัมผัสกับอากาศนานขึ้นทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและส่งผลกระทบต่อสีของสารสกัดเข้มข้นตั้งต้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายอีกชั้นหนึ่ง ดังนั้นจากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งและปริมาณของแข็งทั้งหมดส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์ผงสกัดชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)



(ก)



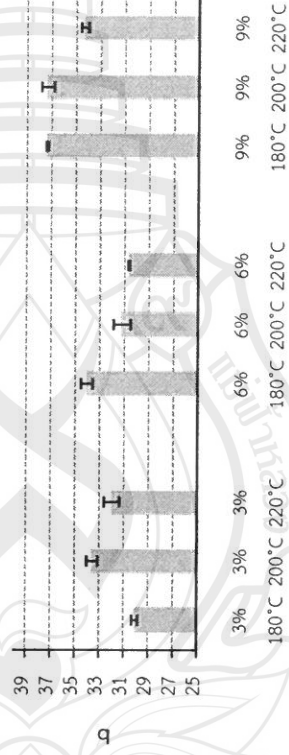
(ข)



ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิเมื่อร้อนเข้า

ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิเมื่อร้อนเข้า

(ค)

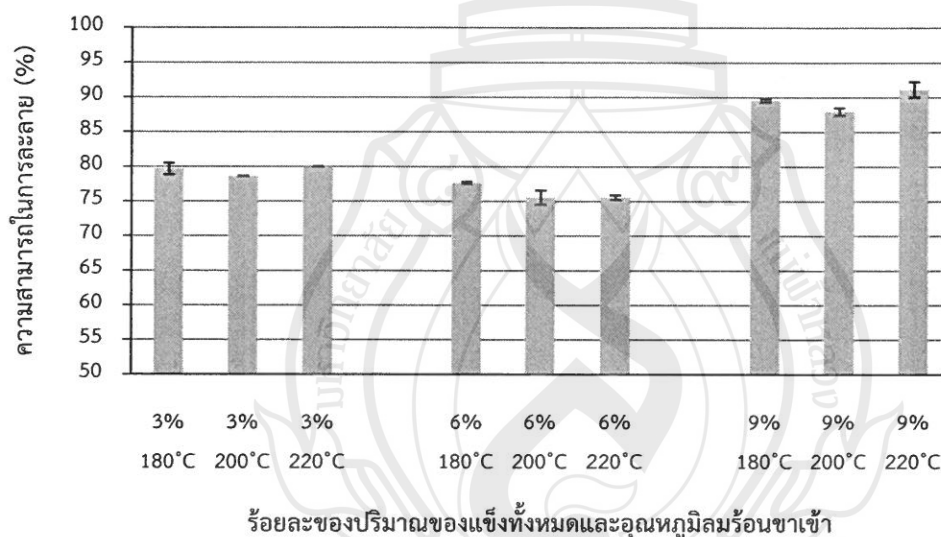


ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิเมื่อร้อนเข้า

ภาพที่ 4-10 (ก) ค่า L (ข) ค่า d (ค) ค่า b ของผลสารสกัดชาเขียวหลังจากผ่านการทำแห้งแบบแผ่ผาย ณ สภาวะต่างๆ

4.4.1.3 ความสามารถในการละลาย (solubility) ของผงสารสกัดชาเขียว

มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์อาหารผง เช่น สภาวะในกระบวนการผลิต สภาวะในการเก็บรักษา องค์ประกอบ พีเอช และขนาดของอนุภาค ผลิตภัณฑ์ จากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าหากใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีน (protein denaturation) ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการละลายลดลง (Okos 1992) แต่ Goula และ Adamopoulos (2005) พบว่าความสามารถในการละลายจะเพิ่มถ้าหากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการละลายของผงสารสกัดชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4-11 จากผลการทดลองพบว่าผลของอุณหภูมิมีผลร้อนชาเข้าไม่ส่งผลต่อความสามารถในการละลาย แต่ทั้งนี้เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดเข้มข้นเริ่มต้นพบว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการละลายให้สูงขึ้นโดยเฉพาะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 9



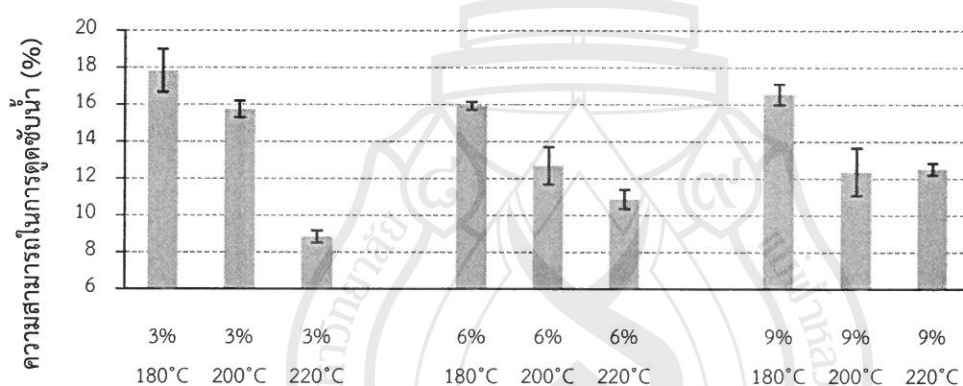
ภาพที่ 4-11 ความสามารถในการละลาย (solubility) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลมร้อนชาเข้าที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

สภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ให้ผลิตภัณฑ์ผงสกัดชาเขียวที่มีความสามารถในการละลายสูงที่สุดคือใช้สารสกัดชาเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 9 และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 220 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าที่สภาวะนี้ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นรวม (bulk density) ต่ำที่สุดและใช้เวลาในการทำแห้งต่ำที่สุด ค่าความหนาแน่นรวมที่ต่ำ (น้อยกว่า 0.4 g/cm^3) เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีในอาหารผงที่ไม่ไขมันขาดมันเนย การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ลดลงและทำให้อุณหภูมิความเป็นรูปพรุนสูงขึ้น (Walton 2000) ซึ่งอาหารผงที่มีความเป็นรูปพรุนสูงจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ง่ายขึ้น

4.4.1.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ของผงสารสกัดชาเขียว



ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ภาพที่ 4-12 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลมร้อนที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

จากผลการทดลองค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ของผงสารสกัดชาเขียวอยู่ในช่วงร้อยละ 8.84 ถึง 17.84 ทั้งนี้จากข้อมูลของ GEA Niro Research Laboratory พบว่า

ผลิตภัณฑ์ผงชาเขียวที่ได้จากการทดลองมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่ในช่วงที่เป็น non-hygroscopic (น้อยกว่าร้อยละ 10) จนถึง hygroscopic (ร้อยละ 15.1 ถึง 20.0) ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผงสารสกัดชาเขียวดังแสดงในภาพที่ 4-12 อุณหภูมิความร้อนขาเข้าส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของผงสารสกัดชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนขาเข้าจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของผงสารสกัดชาเขียวลดลง ผลที่ได้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยอื่นที่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนขาเข้าจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของอาหารผงลดลงซึ่งจะช่วยลดการจับตัวเป็นก้อน (degree of caking) ของอาหารผง (Goula และ Adamopoulos, 2010)

4.4.2 สมบัติทางเคมีของผงสารสกัดชาเขียวอุ้งหลง

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของผงสารสกัดชาเขียวอุ้งหลงหลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-4 สมบัติทางเคมีของผงสารสกัดชาเขียวอุ้งหลง

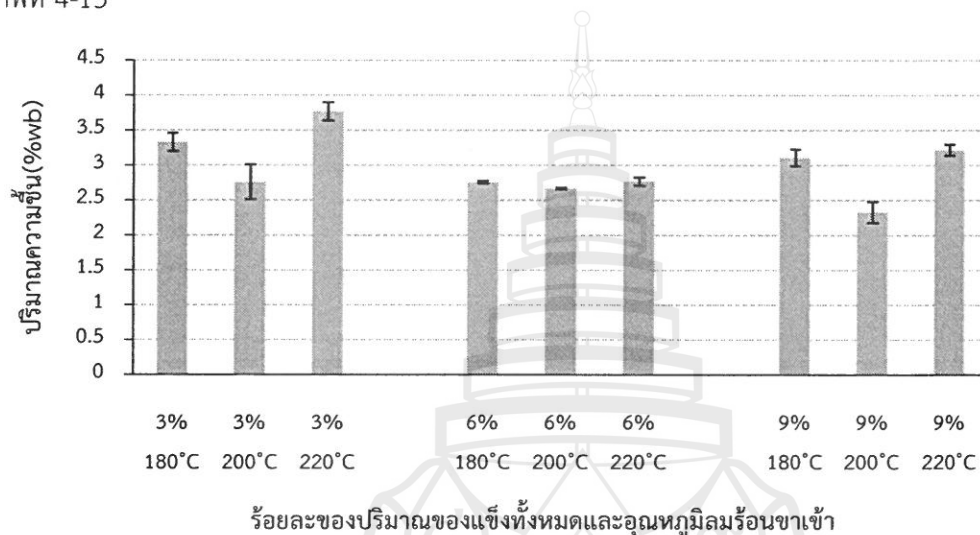
ร้อยละ ปริมาณ ของแข็ง ทั้งหมด	อุณหภูมิ ร้อนขาเข้า (°C)	ความชื้น (%db)	สารโพลีฟีนอล ทั้งหมด (%w/w db)	ความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ (mmol Trolox /100 g db)	สารคาเทชิน ทั้งหมด (g/100 g db)	สารคาเฟอีน (g/100 g db)
3	180	3.33 ± 0.13 ^b	30.55 ± 0.85 ^a	226389 ± 7222 ^{b,c}	21.77 ± 0.45 ^{a,b,c,d}	5.37 ± 0.04 ^a
	200	2.76 ± 0.25 ^c	27.44 ± 0.04 ^b	221154 ± 6329 ^c	21.14 ± 0.42 ^{a,b,c,d}	5.09 ± 0.25 ^a
	220	3.77 ± 0.13 ^a	27.27 ± 0.04 ^b	218805 ± 983 ^c	23.23 ± 2.28 ^a	5.64 ± 0.47 ^a
6	180	2.76 ± 0.02 ^c	30.69 ± 0.17 ^a	247768 ± 5655 ^a	20.69 ± 0.81 ^{b,c,d}	4.96 ± 0.52 ^a
	200	2.67 ± 0.01 ^c	29.98 ± 1.02 ^a	235621 ± 270 ^{a,b,c}	19.28 ± 1.49 ^d	5.02 ± 0.37 ^a
	220	2.77 ± 0.06 ^c	29.89 ± 0.34 ^a	232537 ± 4197 ^{a,b,c}	20.43 ± 0.21 ^{c,d}	5.37 ± 0.16 ^a
9	180	3.11 ± 0.12 ^b	29.69 ± 0.22 ^a	241673 ± 5380 ^{a,b}	22.24 ± 0.09 ^{a,b,c}	5.16 ± 0.61 ^a
	200	2.33 ± 0.15 ^d	30.34 ± 0.54 ^a	247633 ± 5102 ^a	22.97 ± 0.88 ^{a,b}	5.63 ± 0.24 ^a
	220	3.22 ± 0.08 ^b	30.16 ± 1.12 ^a	243632 ± 16516 ^{a,b}	20.60 ± 0.05 ^{b,c,d}	5.37 ± 0.18 ^a

¹ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จำนวนตัวอย่าง=2)

²ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงการแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) .

4.4.2.1 ปริมาณความชื้น(moisture content) ของผงสารสกัดชาเขียว

ปริมาณความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารโดยทั่วไปปริมาณความชื้นจะแสดงในสองรูปคือ ความชื้นฐานเปียก (wet basis) และความชื้นฐานแห้ง (dry basis) ปริมาณความชื้นของตัวอย่างผงสารสกัดชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 ปริมาณความชื้น (ฐานเปียก) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลมร้อนที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

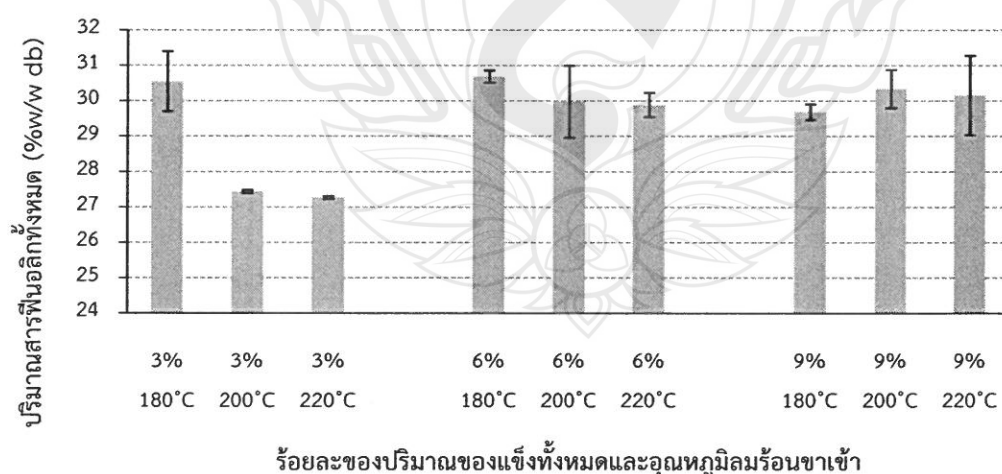
จากภาพที่ 4-13 ปริมาณความชื้นของผงสารสกัดชาเขียวอยู่ในช่วงร้อยละ 2.33 ถึง 3.77 (ฐานเปียก) โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 (Singh and Heldman 2009) โดยปริมาณความชื้นควรจะอยู่ในช่วงร้อยละ 3 ถึง 5 กรัมต่อ100กรัมสำหรับชาผงสำเร็จรูปซึ่งจะทำให้มีความคงตัวตลอดการบรรจุและเก็บรักษา (Sinija & Mishra 2008) ซึ่งผลิตภัณฑ์ผงสกัดชาเขียวอุณหภูมิลมร้อนที่ได้จากการทดลองนี้ก็มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 5

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิลมร้อนเข้าส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญซึ่งจะเห็นจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 180 องศาเซลเซียสเป็น 200

องศาเซลเซียส โดยปกติปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าหรือลมร้อนขาออก (Quek และคณะ 2007; Tonon และคณะ 2008) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 200 องศาเซลเซียสเป็น 220 องศาเซลเซียสปริมาณความชื้นของผงสกัดชาเขียวกลับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากการที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงส่งผลให้อัตราการทำแห้งไวจึงใช้เวลาที่ผลิตภัณฑ์ผงอยู่ในภาชนะรองรับที่เชื่อมติดกับไซโคลนน้อย ทำให้น้ำเกิดการระเหยไปในช่วงที่อยู่ในภาชนะดังกล่าวน้อยทำให้ปริมาณความชื้นสูงขึ้น ส่วนผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดเข้มข้นที่มีต่อปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังไม่ชัดเจนนัก

4.4.2.2 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenols content) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ของผงสารสกัดชาเขียว

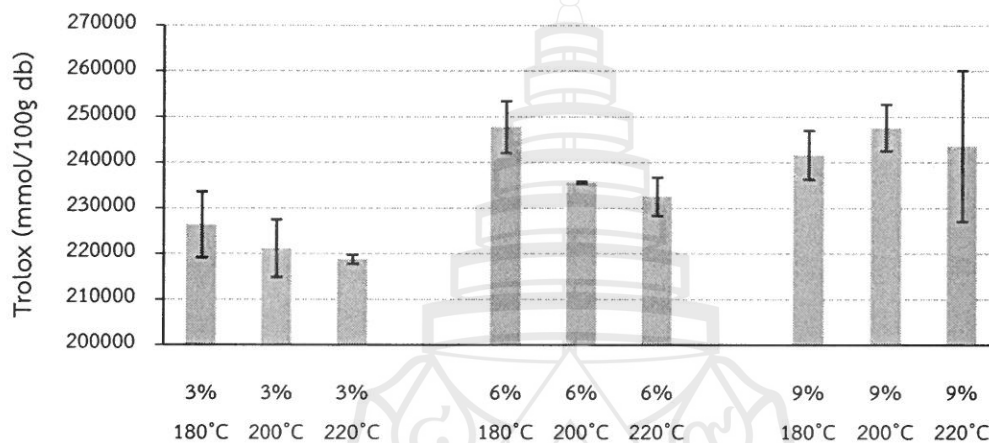
จากภาพที่ 4-14 และภาพที่ 4-15 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงสารสกัดชาเขียวอยู่ในช่วงร้อยละ 27.27 ถึง 30.55 w/w (ฐานแห้ง) และ 218.805 ถึง 247.768 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$ (ฐานแห้ง) การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าทำให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าสารโพลีฟีนอลทั้งหมดของผงสารสกัดจากถั่วเหลืองลดลงเล็กน้อยเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Georgetti และคณะ 2008) การเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดเข้มข้นไม่ส่งผลต่อปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดแต่ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4-14 ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สถานะต่างๆ

หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ



ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิลมร้อนชาเข้า

ภาพที่ 4-15 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ในรูปของ Trolox equivalent ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลบที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ

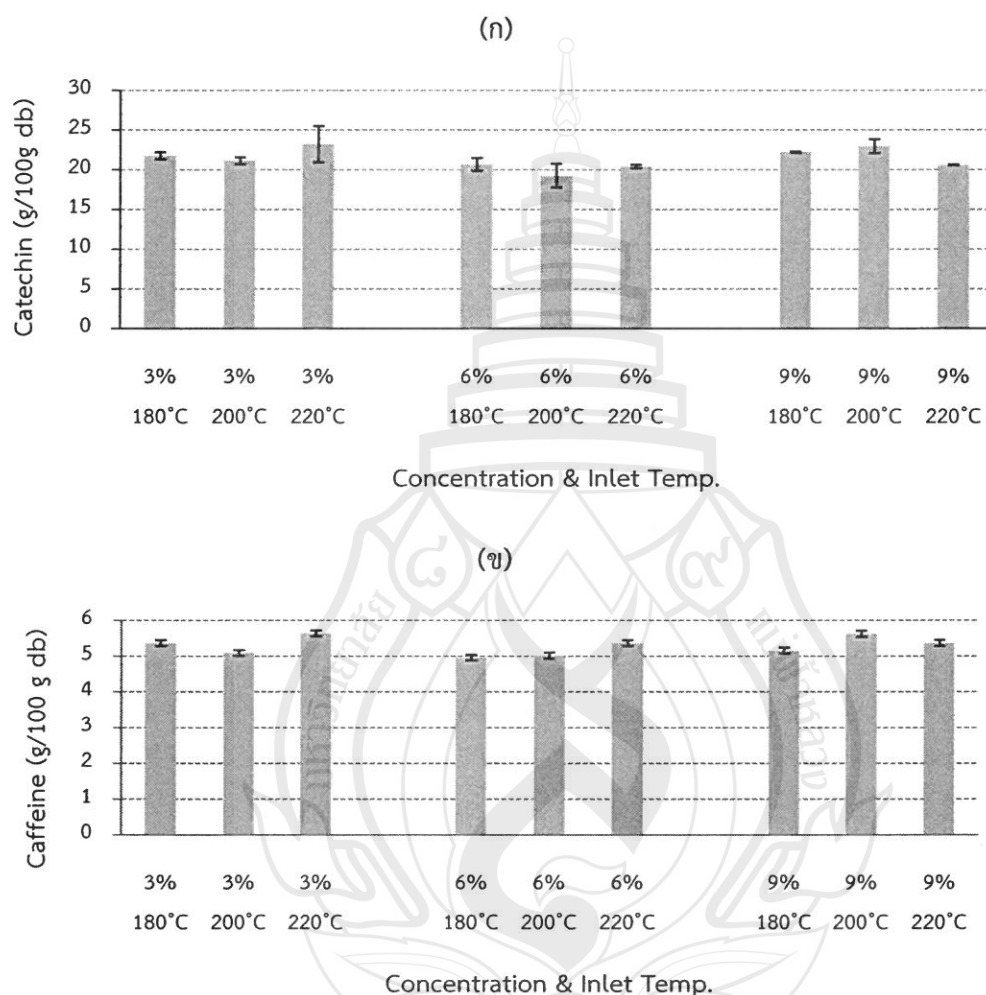
หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในผงสารสกัดชาเขียวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สารโพลีฟีนอลทั้งหมดไม่ได้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดที่ปรากฏในสารสกัด (Djeridane และคณะ 2006) จึงเป็นเหตุผลที่อธิบายได้ว่าเหตุใดผงสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันแต่ทำไมความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าที่ต่างกัน นอกจากนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระยังขึ้นอยู่กับ

ลักษณะโครงสร้างทางเคมีและปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันของสารต้านอนุมูลอิสระแต่ละชนิด นอกเหนือจากปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารนั้นๆ

4.4.2.3 ปริมาณสารคาเทชิน (catechins content) และปริมาณสารคาเฟอีน (caffeine content) ของผงสารสกัดชาเขียว



ภาพที่ 4-16 (ก) ปริมาณคาเทชินทั้งหมด (total catechins content) และ (ข) ปริมาณคาเฟอีน (caffeine content) ของผงสารสกัดชาเขียวอยู่หลังที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ตารางที่ 4-5 ปริมาณสารคาเทชินแต่ละชนิดและปริมาณสารคาเฟอีนของผงสารสกัดชาเขียว

Tea powder with difference concentration(%) and inlet temp. (°C)									
Catechins and Caffeine compound	3%			6%			9%		
	180°C	200°C	220°C	180°C	200°C	220°C	180°C	200°C	220°C
GC	2.70 ± 0.11 ^{cd}	2.54 ± 0.06 ^d	2.99 ± 0.23 ^{ab}	2.82 ± 0.08 ^{abcd}	2.82 ± 0.10 ^{abcd}	3.09 ± 0.02 ^a	2.87 ± 0.05 ^{abc}	2.75 ± 0.18 ^{bcd}	3.06 ± 0.05 ^a
EGC	6.89 ± 0.22 ^{ab}	6.67 ± 0.06 ^{ab}	7.37 ± 0.76 ^a	6.68 ± 0.04 ^{ab}	6.47 ± 0.25 ^{ab}	6.17 ± 0.18 ^{ab}	7.53 ± 1.41 ^a	7.04 ± 0.22 ^{ab}	5.86 ± 0.13 ^b
C	1.32 ± 0.01 ^{cd}	1.25 ± 0.05 ^d	1.34 ± 0.13 ^{cd}	1.40 ± 0.15 ^{cd}	1.43 ± 0.04 ^{bcd}	1.48 ± 0.07 ^{abc}	1.59 ± 0.03 ^{ab}	1.59 ± 0.07 ^{ab}	1.64 ± 0.00 ^a
EC	1.77 ± 0.01 ^b	1.66 ± 0.08 ^b	1.83 ± 0.18 ^{ab}	1.74 ± 0.04 ^b	1.75 ± 0.04 ^b	1.73 ± 0.06 ^b	1.99 ± 0.14 ^{ab}	1.87 ± 0.03 ^{ab}	2.38 ± 0.67 ^a
EGCG	6.49 ± 0.11 ^{ab}	6.52 ± 0.06 ^{ab}	7.02 ± 0.73 ^a	5.62 ± 0.32 ^{bc}	4.62 ± 0.74 ^c	5.43 ± 0.18 ^{bcd}	5.89 ± 0.96 ^{ab}	7.06 ± 0.25 ^a	5.71 ± 0.08 ^{bc}
CF	5.37 ± 0.04 ^a	5.09 ± 0.25 ^a	5.64 ± 0.47 ^a	4.96 ± 0.52 ^a	5.02 ± 0.37 ^a	5.37 ± 0.16 ^a	5.16 ± 0.61 ^a	5.63 ± 0.24 ^a	5.37 ± 0.18 ^a
GCG	1.61 ± 0.02	1.53 ± 0.07 ^a	1.64 ± 0.18 ^a	1.60 ± 0.14 ^a	1.45 ± 0.17 ^a	1.61 ± 0.01 ^a	1.46 ± 0.18 ^a	1.58 ± 0.11 ^a	1.41 ± 0.06 ^a
ECG	1.02 ± 0.01 ^{ab}	0.99 ± 0.05 ^{ab}	1.06 ± 0.08 ^a	0.86 ± 0.05 ^{ab}	0.74 ± 0.15 ^b	0.93 ± 0.02 ^{ab}	0.91 ± 0.30 ^{ab}	1.10 ± 0.03 ^a	1.05 ± 0.03 ^a
Total of									
Catechins	21.77 ± 0.45	21.14 ± 0.42	23.23 ± 2.28	20.69 ± 0.81	19.28 ± 1.49	20.43 ± 0.21 ^{cd}	22.24 ± 0.09	22.97 ± 0.88	20.60 ± 0.05

1. ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จำนวนตัวอย่าง=2)

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงการแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) .

จากภาพที่ 4-16 และ ตารางที่ 4-5 ปริมาณสารคาเทชินทั้งหมดอยู่ในช่วง 19.28 ถึง 23.23 g/100 g (ฐานแห้ง) และปริมาณสารคาเฟอีนอยู่ในช่วง 4.96 ถึง 5.64 g/100 g (ฐานแห้ง) การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าและปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดเข้มข้นส่งผลต่อปริมาณสารคาเทชินทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ (เป็นในทิศทางที่ไม่แน่นอน) แต่ส่งผลอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อปริมาณสารคาเฟอีน ตารางที่ 4-5 แสดงสารคาเทชินในผงสารสกัดจากชาซึ่งประกอบไปด้วย GC, EGC, C, EGCG, GCG, และ ECG จากตารางจะเห็นได้ว่า EGC และ EGCG เป็นสารคาเทชินหลักที่พบในผงสารสกัดจากชาเขียว

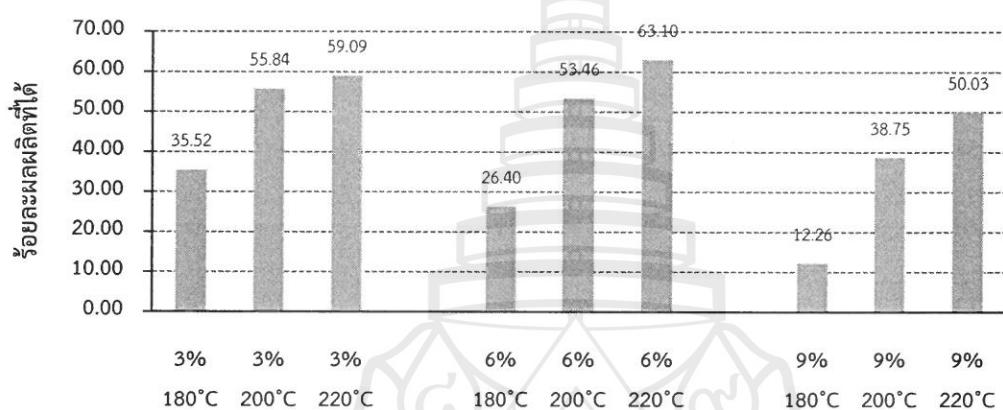
4.5 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (recovery yield) ปริมาณการระเหยน้ำ (amount of removed water) พลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง (energy consumption)

ร้อยละผลผลิตที่ได้ (recovery yield) ปริมาณการระเหยน้ำ (amount of removed water) พลังงานที่ใช้ในการทำแห้ง (energy consumption) ของการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากชาเขียวที่สภาวะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ร้อยละผลผลิตที่ได้ ปริมาณการระเหยน้ำ และพลังงานที่ใช้ในการทำแห้งของการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากชาเขียวที่สภาวะต่างๆ

ปริมาณ ของแข็ง ทั้งหมด	อุณหภูมิลมร้อน ขาเข้า (°C)	ร้อยละผลผลิต ที่ได้	ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg/h)	พลังงานที่ใช้ในการทำแห้งต่อกะ (kW.h)
3	180	35.52	0.71	91.28
	200	55.84	1.74	37.33
	220	59.09	1.98	32.85
6	180	26.40	0.62	50.77
	200	53.46	1.13	28.00
	220	63.10	1.26	25.01
9	180	12.26	0.74	27.44
	200	38.75	1.23	16.61
	220	50.03	1.58	12.88

อุณหภูมิร้อนขาเข้าส่งผลต่อร้อยละผลผลิตที่ได้ (recovery yield) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิร้อนขาเข้าส่งผลให้ร้อยละผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะที่อุณหภูมิร้อนสูงเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้นจึงทำให้โอกาสที่ผงสารสกัดชาเขียวหลุดไปกับลมร้อนขาออกน้อยลงเนื่องจากสัมผัสกับลมที่พัดผ่านในระยะเวลาที่สั้นกว่าประกอบกับที่อุณหภูมิสูงมีสารสกัดเข้มข้นที่ไม่แห้งสนิทและเกาะติดห้องอบแห้งที่น้อยกว่าดังแสดงในภาพที่ 4-17 ทั้งการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะส่งผลให้อัตราในการระเหยน้ำเพิ่มสูงขึ้น



ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมดและอุณหภูมิร้อนขาเข้า

ภาพที่ 4-17 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (recovery yield) ของผงสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิลดลงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ณ สภาวะต่างๆ

หมายเหตุ :

- 3%180C 3%200C 3%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 6%180C 6%200C 6%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 6 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 9%180C 9%200C 9%220C คือผงสารสกัดชาเขียวจากสารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับ

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเริ่มต้นที่มีต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาที่ระดับร้อยละ 3, 6 และ 9 และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ระดับ 180, 200 และ 220 องศาเซลเซียสส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงสารสกัดชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenols content) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ลดลง ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าส่งผลในลักษณะผันผวนต่อค่าสี (L, a และ b) และค่าความชื้น (moisture content) แต่ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการละลาย (solubility) ปริมาณสารคาเทชิน (catechins content) และปริมาณสารคาเฟอีน (caffeine content) เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเขียวส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการละลาย (solubility) ค่าสี (L, a และ b) ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารสกัดชาเขียวส่งผลในลักษณะผันผวนต่อค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ปริมาณความชื้น (moisture content) และปริมาณสารคาเทชิน (catechins content) แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenols content) และปริมาณสารคาเฟอีน (caffeine content)

ทั้งนี้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดชาเขียวอุณหภูมิ 12 โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยรุ่น JMC-miniLAB spray dryer (จากบริษัท Euro Best Technology, Ltd., ประเทศไทย) คือทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 220 องศาเซลเซียสและใช้สารสกัดชาเขียวที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 9 ซึ่งจะทำให้ได้ผงสารสกัดชาเขียวที่มีความหนาแน่นรวม (bulk density) ต่ำ มีความสามารถในการละลาย (solubility) สูง มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (hygroscopicity) ระดับปานกลาง มีปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมด (total polyphenols content) สูง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) สูง อีกทั้งยังใช้เวลาในการทำแห้งสั้นเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำสูงซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานในการทำแห้ง แต่ทั้งนี้การใช้สารสกัดชาที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9 ก็จะมีการสูญเสียในระหว่างกระบวนการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งทำให้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้น้อย ดังนั้น

หากปรับปรุงกระบวนการทำให้เข้มข้นแบบแซ่เยือกแข็งให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นหรือหาวิธีการทำให้เข้มข้นที่เหมาะสมและเป็นไปได้ในระดับอุตสาหกรรมก็จะช่วยเพิ่มร้อยละผลผลิตที่ได้ให้สูงขึ้น



เอกสารอ้างอิง

Aguilera. J.M.. and Lillford. P.J. 2008. Processing of Food Powders. **Food Materials Science Principles and Practice**, USA.

Arslan, N. and Toğrul, H. 2006, “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**, Vol. 42, pp. 112-135.

Azizah, A.H., Nik Ruslawati, N.M. and Swee Tee, T., 1999, “Extraction and characterization of antioxidant from cocoa by-products”, **Food Chemistry**, Vol. 64, pp. 199-202.

Butsoongnern. J. 2006. Effect of tea infusion conditions on caffeine content in green tea and oolong tea. **Mae Fah Luang University: Chiang rai [Manuscript]**

Catherine, A.R., Nicholas, J.M. and George, P., 1997, “Antioxidant properties of phenolic compounds”, **Trends in plant science reviews**, Vol. 2, No.4, pp. 152-159.

Christiane, J.D. and Edward, R.F., 2001, “A review of latest research findings on the health promotion properties of tea”, **Journal of Nutritional Biochemistry**, Vol. 12, pp. 404-421.

Chu, D.C. and Juneja, L.R., 1997, “General composition of green tea and its infusion”, **Chemistry and Applications of green tea**, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida 33431, pp. 13-43.

Chuu, C., Chen, R., John, M.K., Richard, A.H. and Liao, S., 2009, “Suppression of androgen receptor signaling and prostate specific antigen expression by (-)-epigallocatechin-3-gallate in different progression stages of LNCaP prostate cancer cells”, **Cancer Letters**, Vol. 275, pp. 86-92.

Department of Agricultural Extension, **Tea production in Thailand** [Online], Available: <http://www.doae.go.th/temp.asp?gpg=yearreport> [2009, February 25].

FAO. 2008. **Committee on Commodity Problems- Intergovernmental Group on Tea**. Eighteenth Session. Hangzhou. China. 14-16 May. 2008.

Fortes, M. and Okos, M.R., 1980, "Drying theories: their bases and limitations as applied to foods", **Advance drying**, p. 119.

Georgetti. S.R., Casagrande. R., Souza. C. R. F., Oliveria. W. P., & Fonseca. M. J. V. 2008. Spray drying of the soybean extract: effect on chemical properties and antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie**. 41. 1521-1527.

Goula. A.M., & Adamopoulos. K. G. 2005. Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified air. II. The Effect on Powder Properties. **Journal of Food Engineering**. 66.35-42.

Goula. A.M., & Adamopoulos. K. G. 2010. A New Technique for Spray Drying Orange Juice Concentrate. **Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies** 11 : 342-351.

Gustavo V.B., Rivas. E., Juliano. P., Yan. H. 2005. **Food Powder: Physical Properties Processing and Functionality**. Kluwer Academic/Plenum Publishers, USA.

Hara. Y. 2000. **Green tea: Health Benefits and Application**. Madison Avenue, USA.

Harvard Health Publications, **Benefits of drinking green tea** [Online], Available: https://www.health.harvard.edu/press_releases/benefit_of_drinking_green_tea [2009, February 22].

- Hayden, D., 2005, **Green Tea Vitamins**[Online], Available:<http://davidhayden.com/blog/dave/archive/2005/09/08/2456.aspx> [2009, March 3].
- Hartel. R.W. 1992. Evaporation and Freeze Concentration. **Handbook of Food Engineering**. Heldman. D.R. Lund. D.B (editors). Marcel Dekker. Inc., USA.
- Huntington. D.H. (2004). The influence of the spray-drying process on product properties. **Drying Technol** 22. 1261–1287.
- Hsu. C..Tsai. T.. Kao. Y.. Hwang. K.. Tseng. T.. Chou. P. 2008. Effect of green tea extract on obese women: A randomized. double-blind. placebo-controlled clinical trial.**Clinical Nutrition** 27. 363-370.
- Kamaruddin Abdullah. A. M. Syarief. E. A. Nugroho dan D. Subekti. 1989. Teknik Pengolahan Hasil Pertanian Pangan. **Laboratorium Rekayasa Proses Pangan**. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Katiyar, S., Elmets, C.A. and Katiyar, S.K., 2007, “Green tea and skin cancer: photoimmunology, angiogenesis and DNA repair”, **Journal of Nutritional Biochemistry**, Vol.18, pp. 287-296.
- Katiyar, S.K, Bergamo, B.M., Vyalil, P.K. and Elmets, C.A., 2001, “Green tea polyphenols: DNA photodamage and photoimmunology”, **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Vol. 65, pp. 109-114.
- Kent. Jim and John McLeod. 2007. Spray Dryer Optimization: **Power Bulk Solid Conference**.
- Koketsu, M., 1997, “Antioxidative activity of tea polyphenols”, **Chemistry and Applications of green tea**, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida 33431, pp. 13-43.

Kuljarachanan, T., Devahastin, S. and Chiewchan, N., 2009, "Evaluation of antioxidant compounds in lime residues during drying", **Journal of Food Chemistry**, Vol. 113, pp. 944-949.

Koo MWL. Cho CH: Pharmacological effects of green tea on the gastrointestinal system. **Eur J Pharmacol** 2004. 500:177-185.

Lillford. P. (2002). Functional properties of food powders and particulates. In **Proceedings of a Workshop. "Powder Research to Promote Competitive Manufacture of Added Value Food Ingredients**. SIK Report. Gothenburg.

Mansour, E.H. and Khalil, A.H., 2000, "Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application to ground beef patties", **Journal of Food Chemistry**, Vol. 69, pp. 135-141.

Masters. K. 1991. **Spray Drying Handbook**. Longman Scientific & Technical and John Wiley & Sons. Inc.. New York.

Meterc. D.. Petermann. M.. Weidner. E. 2008. Drying of aqueous green tea extracts using a supercritical fluid spray process. **Journal of Supercritical Fluids** 45. 253-259.

Nadeem. H.Torun.M.. Özdemir. F. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **Journal of Food Science and Technology** 44. 1626-1635.

Okos. M.R.. Narsimhan. G.. Singh. R.K.. Weitnauer. A.C. 1992. Food Dehydration. **Handbook of Food Engineering**. Marcel Dekker. Inc., USA.

Roomi MW. Ivanov V. Kalinovsky T. Niedzwiecki A. Rathln M: In vitro and in vivo antitumorigenic activity of a mixture of lysine. proline. ascorbic acid. and green tea

extract on human breast cancer lines MDA-MB-231 and MCF-7. **Medical Oncol** 2007. 22(2):129-138.

Sharma, S.K., Mulvaney, S.J., Rizvi, S.S.H. 2000. Theory and Laboratory Experiments. **Food Process Engineering**. A John Wiley & Sons, Inc., USA.

Sinija. V. R. and Mishra. H. N. Fuzzy Analysis of Sensory Data for Quality Evaluation and Ranking of Instant Green Tea Powder and Granule. **Food Bioprocess Technology** (2011) 4:408–416.

Singh. P.R., Heldman. D.R.. Introduction to Food Engineering 4th. Elsevier Inc. USA.
Suteerapataranon. S.. Butsoongnern. J.. Punturat. P.. Jorpalit. W.. Thanomsilp. C. 2009. Caffeine in Chiang Rai tea infusions: Effects of tea variety, type, leaf form, and infusion conditions. **Food Chemistry** 114. 1335–1338

Shahidi, F. and Naczk, M., 2004, **Phenolics in food and nutraceuticals**, CRC Press, Boca Raton, pp. 241-249.

Tsuneki H. Ishizuka M. Terasawa M. Wu JB. Sasaoka T. Kimura I: Effect of green tea on blood glucose levels and serum proteomic patterns in diabetic (db/db) mice and on glucose metabolism in healthy humans. **BMC Pharmacol** 2004. 4:18-21.

Winyayong, P. 2008. Current Status and Future Development of Tea Production and Tea Products in Thailand. **Proceedings of the International Conference on Tea Production and Tea Products**. Mae Fah Luang University: 89-97

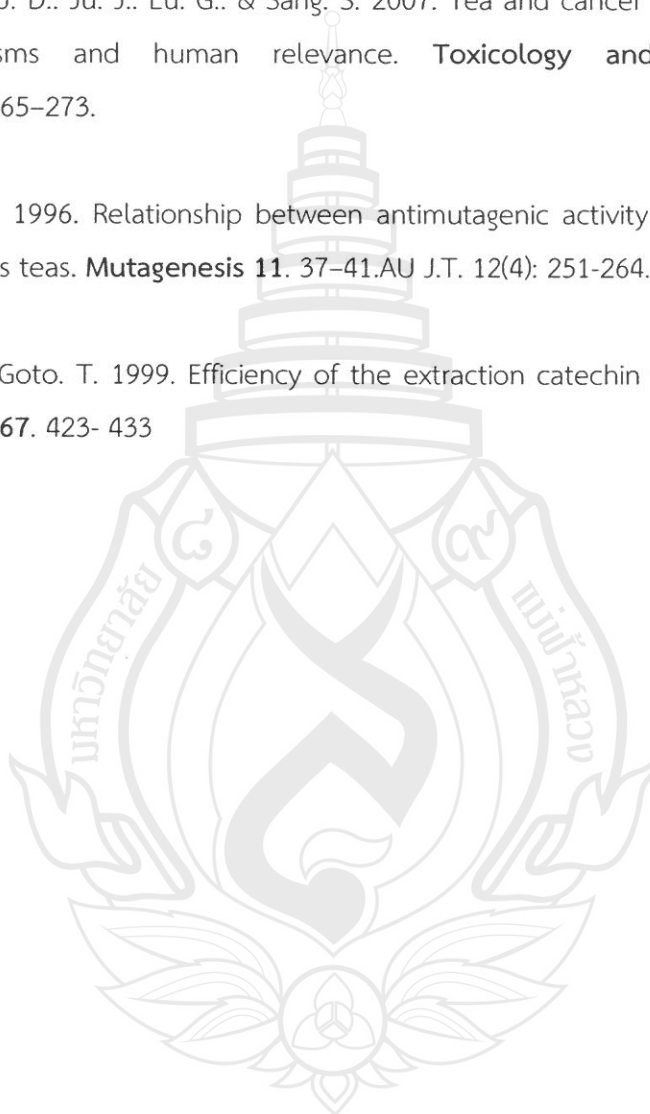
Wongsuwan J., 2008, **Improvement of tea extractor and preliminary study of tea powder processing**, Master of Engineering Thesis, Food Engineering program, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Xie. B.. Shi. H.. Chen. Q.. Ho. C.T.. 1993. Antioxidant properties of fractions and polyphenol constituents from green, oolong and black tea. **Proceedings of Science and Technology Council of the People's Republic of China B 17**. 77-84.

Yang. C. S.. Lambert. J. D.. Ju. J.. Lu. G.. & Sang. S. 2007. Tea and cancer prevention: Molecular mechanisms and human relevance. **Toxicology and Applied Pharmacology 224**. 265-273.

Yen. G.C.. Chen. H.Y.. 1996. Relationship between antimutagenic activity and major composition of various teas. **Mutagenesis 11**. 37-41. **AU J.T. 12(4)**: 251-264.

Yoshida. Y.. Kiso. M.. Goto. T. 1999. Efficiency of the extraction catechin from green tea. **Food Chemistry 67**. 423- 433



ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - สกุล นายณัฐวุฒิ ดอนลาว
Mr. Natthawuddhi Donlao
2. รหัสบัตรประจำตัวประชาชน 3 5701 01298 04 8
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ที่อยู่ 333 ม. 1 ต. ท่าสุด อ. เมือง จ. เชียงราย 57100
โทรศัพท์ 053-916-749 โทรสาร 053-916-739
อีเมลล์ tony_aye@hotmail.com
4. ประวัติการศึกษา
 - วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2545)
 - วศ.ม. (วิศวกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2552)
5. ประวัติการทำงาน
 - พ.ศ. 2545 -2546 หัวหน้างานฝ่ายผลิต (Production supervisor) โรงงานอาหารสำเร็จรูป บริษัท ชันแวลเลย์ (ประเทศไทย) จำกัด จ.สระบุรี
 - พ.ศ. 2546-2548 หัวหน้างานฝ่ายวิจัย (Research supervisor) โรงงานอาหารสำเร็จรูป บริษัท ลานนาโปรดักส์ จำกัด จ.ลำพูน
 - พ.ศ. 2548-2550 นักวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
 - พ.ศ. 2552-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของของไหล (Numerical Simulation of Fluid Dynamic)
 - การหาอายุการเก็บรักษาสลิตภัณฑ์อาหารโดยวิธีการเร่ง (ASLT)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศ

ชื่อโครงการ	สัดส่วนผู้วิจัย	แหล่งทุนวิจัย	ปีที่ได้รับทุน/ระยะเวลา	การเผยแพร่ผลงานวิจัย
1.ผลของสภาวะการให้ความร้อนเบื้องต้นโดยใช้ไอน้ำที่มีผลต่อการสูญเสียทางความร้อนของกังหัน (CPDTO)	50%	ทุนโครงการทักษะวิศวกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีร่วมกับบริษัทไทยยูเนียนโพรเซสโปรดักส์ จำกัด (มหาชน)	2551/6 เดือน	
2.ผลของแหล่งที่มาของกังหันที่มีผลต่อคุณภาพของกังสดและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตหลังปรุงสุกของกังหัน (CPDTO)	50%	ทุนโครงการทักษะวิศวกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีร่วมกับบริษัทไทยยูเนียนโพรเซสโปรดักส์ จำกัด (มหาชน)	2551/6 เดือน	
3. ไอโซเทอร์มการดูดซับน้ำและผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการเสื่อมสลายของสารโพลีฟีนอลในชาเขียวอัสสัมผ	100%	หัวข้อวิจัยภายใต้โครงการกระบวนการผลิตผงสกัดชาเขียวในระดับโรงงานต้นแบบสนับสนุนโดยสำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)	2551/6 เดือน	

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-สกุล นาย จีรพงษ์ เทพกรณ์

2. ที่อยู่ School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University
333 Moo. 1, Tasud, Muang, Chiang Rai, Thailand 57100

3. เบอร์ติดต่อ Office : 053-916750 (+66 53 91 6750)
Mobile : 081- 5954272 (+66 81 595 4272)
E-mail theerapong@mfu.ac.th ; peawic@hotmail.com

4. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

5. ประวัติการศึกษา

- 1999-2003 Doctor of Philosophy in Biotechnology
Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
Thesis title: Production, Stability and Behavior in Non-
Conventional Media of Cysteine Proteases From Papaya (*Carica papaya* L.) Latex

- 1995-1998 Bachelor of Science in Industrial Chemistry (1st Class Honors)
Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.

6. ประวัติการทำงาน

2007-present	<i>Lecturer</i> Food Technology Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
2005-2006	<i>Head of Chemistry Laboratory</i> The Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. Chiang Mai, Thailand
2004	<i>Lecturer</i> Food Technology Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
2002	<i>Visiting Scientist</i> Department of Pure and Applied Science, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK
2000-2001	<i>Teaching Assistant (Biochemistry)</i> Department of Chemistry, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

7. ACHIEVEMENT, AWARDS AND FELLOWSHIPS

- 1999 Top score award of Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, awarded by Prof. Tab's Foundation, Faculty of Science, Chulalongkorn University.
- 1999 Ph.D. student scholarship from the Royal Golden Jubilee (RGJ) Project, supported by Thailand Research Fund

8. SKILL AND SPECIALIST

1. Complete knowledge of Chemistry, Food Chemistry, Analytical Chemistry, Biochemistry and Enzymology
2. Experience in the instrumental laboratory such as HPLC (FLD, DAD, RI detector), LC-MS, GC (FID, ECD, NPD detector), GC-MS, Spectrophotometer, Auto titration, Karl Fisher, AAS (flame, graphite furnace)
3. Methods of analysis such as proximate analysis, nutrition, food additive/preservative, mineral, heavy metal, mycotoxins, bioactive compounds and residue analysis (antibiotic and pesticide).
4. Skills in method validation, uncertainty measurement, ISO/IEC 17025, laboratory quality control and laboratory management.
5. Research and development of methods/techniques for chemical and biochemical analysis

9. RESEARCH INTERESTS

1. Antioxidant compounds and application in foods
2. Chemical analysis of bioactive compounds from plants
3. Tea

10. PUBLICATIONS, PRESENTATION AND ABSTRACTS

Peer reviewed publications

- RICHAKUSUMAWATI, THEERAPONG THEPPAKORN, SOOTTAWAT BENJAKUL, AND SAROAT RAWDKUEN (2010) Trypsin Inhibitor from 3 Legume Seeds: Fractionation and Proteolytic Inhibition Study, *Journal of Food science*, 75(3), 223-228.
- A. Kongsuwan, P. Suthiluk, T. Theppakorn, V. Srilaong² and S. Setha (2009) Bioactive compounds and antioxidant capacities of *phulae* and *nanglae* pineapple, *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, Special Issue, S44-S50.
- Richa Kusuma Wati, Theerapong Theppakorn, and Saroat Rawdkuen (2009) Extraction of trypsin inhibitor from three legume seeds of the Royal Project Foundation, *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2(03), 245-254.
- Wati, R. K., Theppakorn, T., Benjakul, S. and Rawdkuen, S. (2009). "Three-phase partitioning of trypsin inhibitor from legume seeds." *Process Biochemistry* 44 (12): 1307-1314.
- S. Ketnawa, S. Sai-Ut, T. Theppakorn, P. Chaiwut and Saroat Rawdkuen (2009) Partitioning of bromelain from pineapple peel (*Nang Lae* cultv.) by aqueous two phase system, *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2(04), 457-468
- Chaiwong, S. and Theppakorn, T. (2008) Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality of Pummelo cv. 'Thong Dee' during Storage, *Agricultural Science Journal* 39 : 3 (Suppl.) : 287-290.

Conference presentation

- Theppakorn, T and Rattanasopha, N. (2009) Product development of Nam-miang powder at household level, 1st National Conference on Industrial and Research Projects for Undergraduate Students IRPUSCON-01, March 27-29, Siam Paragon, Bangkok, Thailand. (oral)
- Theppakorn, T. and Yamee, K. (2008) Chemical Qualities of Green Teas Produced in Chiang Rai, Thailand, International Conference on Tea production

and Tea Products, November 26-28, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand. (poster)

- **Theppakorn, T., Arna, J. and Kantasorn, R. (2008)** Effect of Microwave Heating on Catechins and Antioxidant Activity of Green Tea, Food Innovation Asia 2008 , The 10th Agro-Industrial Conference. 12-13 June, BITEC Bangkok, Thailand. (poster)
- **Theppakorn, T. (2007)** Rapid and Simple Systems for Simultaneous Analysis of Gallic acid, Caffeine, and 5 Catechins in Green Tea using HPLC, The 9th Agro-Industrial Conference, 14-15 June, BITEC Bangkok, Thailand. (poster).

Proceedings

- Richa kusuma Wati, **Theerapong Theppakorn** and Saroot Rawdkuen (2009) Extraction of trypsin inhibitor from tree legume seeds from the royal project foundation, การประชุมวิชาการการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 2 เมษายน 23-24 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 615-622.
- Richa kusuma Wati, **Theerapong Theppakorn** and Saroot Rawdkuen (2009) Trypsin inhibitor from three legume seeds: Fractionation and proteolytic inhibition study, การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา ปี 2552 โรงแรมทวินโลตัส อ.เมือง จ. นครศรีธรรมราช : 154-162.
- **Theppakorn, T. and Yamee, K. (2008)** Chemical Qualities of Green Teas Produced in Chiang Rai, Thailand, Proceedings of the International Conference on Tea production and Tea Products, November 26-28, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand: 151-158.
- **Theppakorn, T., Arna, J. and Kantasorn, R. (2008)** Effect of Microwave Heating on Catechins and Antioxidant Activity of Green Tea, Proceedings of Food Innovation Asia 2008 , The 10th Agro-Industrial Conference, June12-13, BITEC Bangkok, Thailand.

11. PATENT AND PETTY PATENT (INVENTOR)

- จีรพงษ์ เทพกรณ์ (2544) อุปกรณ์เก็บรวบนำยางมะละกอ อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 512 ออกให้ ณ วันที่ 7 ธันวาคม 2544
- จีรพงษ์ เทพกรณ์ (2546) ผงเนื้อนุ่ม อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 1111 ออกให้ ณ วันที่ 26 สิงหาคม 2546
- จีรพงษ์ เทพกรณ์ มานพ ปาลิวนิช และ ภาวิณี คณาสวัสดิ์ (2546) วิธีการทำแห้งน้ำยางมะละกอด้วยกระแสดมร้อนในแนวราบเพื่อการผลิตปาเปน สิทธิบัตรไทย เลขที่ 15664 ออกให้ ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2546

