บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณภาพเบื้องต้นของผงสมุนไพร

4.1.1 การตรวจสอบความชื้น

การตรวจสอบความชื้นเริ่มต้น และความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที ของผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย พบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผงสมุนไพรขมิ้นสูงที่สุด ตามด้วยพริกไทย และพริกต่ำที่สุด (ตาราง 4.1)

ตาราง 4.1 ค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบความชื้น (%) ของผงสมุนไพร

ผงสมุนไพร	ความชื้น (%)		การเพิ่มขึ้นคิดเป็น (%)
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	
ขมิ้น	9.66	16.55	71.33
พริก	5.64	11.45	103.01
พริกไทย	8.60	12.57	44.08

การทำขมิ้นให้แห้งในประเทศอินเดียจะต้มเหง้าขมิ้นด้วยไฟอ่อนๆ จนกระทั่งสุกใช้เวลาในการต้มประมาณ 1-3 ชั่วโมง เมื่อเหง้านิ่มสามารถแทงทะลุได้ง่ายด้วยไม้ปลายแหลม แยกการต้มเหง้าและ finger ที่มีขนาดใกล้เคียงกันเป็นชุดๆ เพื่อให้สุกอย่างสม่ำเสมอและพอเหมาะ เหง้าที่สุกหรือดิบเกินไปจะให้สีที่ไม่จัดพอและทำให้ขมิ้นแห้งมีคุณภาพต่ำ หลังจากนั้นจะแยกเอาเฉพาะเหง้าออกแล้วปล่อยให้เย็นก่อนนำไปตากให้แห้ง การทำแห้งขมิ้นทั้งเหง้าอาจใช้วิธีตากแดดนาน 6-7 วัน หรือเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 65 ºC จนแห้ง ถ้าการทำแห้งเป็นชิ้นจะใช้อุณหภูมิ 50 ºC นาน 8 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงเหลือ 40-45 ºC จนแห้งสนิท อัตราผลผลิตสด:แห้ง เป็น 6:1 หรือจะได้ขมิ้นแห้งประมาณ 15-25 % ของน้ำหนักเหง้าสด มาตรฐานความชื้นของขมิ้นแห้งต้องไม่เกิน 10 % ในการตรวจสอบความชื้นเบื้องต้นผงสมุนไพรขมิ้นพบว่ามีความชื้น 9.66 % ดังนั้นผงสมุนไพร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขมิ้นที่ใช้ในการทดลองผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม ในการทำแห้งพริกนั้นมีวิธีการโดยการนำพริกสดความชื้นประมาณ 65-80 % ทำให้แห้งอย่างช้าๆ จนมีความชื้น 7-10 % โดยการตากแดดบนลานซีเมนต์หรือบนแผ่นสังกะสีนาน 3-4 วัน หรือการอบแห้งด้วยไอร้อนใช้อุณหภูมิ 50-60 ºC นาน 24-30 ชั่วโมง จนเหลือความชื้น 7-8 % หรือการอบด้วยเตาอบที่ใช้ไฟฟ้าหรือแก๊สโดยใช้อุณหภูมิ 50-70 ºC นาน 1 วัน หรืออบแห้งในเตาพลังงานแสงอาทิตย์นาน 2-4 วัน มาตรฐานความชื้นคงเหลือของผลพริกแห้งต้องไม่เกิน 16 % (พิทยา, 2551) และการทำพริกป่นที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้น ควรมีความชื้น 7.20-7.29 % เพื่อไม่ให้เกิดสาร aflatoxin ในพริกป่นที่ทำจากพริกแห้ง (อมราและคณะ, 2547) ในการตรวจสอบความชื้นเบื้องต้นผงสมุนไพรพริกพบว่ามีความชื้น 5.64 % ดังนั้นผงสมุนไพรพริกที่ใช้ในการทดลองผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และการทำพริกไทยขาวนั้นมีวิธีการ คือ นำช่อผลพริกไทยที่มีการสุกบ้างแล้วมาใส่ในกระสอบป่าน แช่น้ำนาน 7-10 วัน เพื่อให้เปลือกผลยุ่ยและหลุดออกจากช่อได้ง่าย หลังจากนั้นจึงล้างแยกเอาเฉพาะส่วนของเมล็ดมาตากแดดให้แห้งนาน 4-5 วัน จนเหลือความชื้นเพียง 10-15 % พริกไทยป่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 12 % (พิทยา, 2551) ในการตรวจสอบความชื้นเบื้องต้นของผงสมุนไพรพริกไทยพบว่ามีความชื้น 5.64 % ดังนั้นผงสมุนไพรพริกไทยที่ใช้ในการทดลองนั้นมีความชื้นต่ำกว่าการทำแห้งโดยทั่วไปและผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

จากการตรวจสอบความชื้นผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที นั้น พบว่ามีความชื้น เท่ากับ 16.55 11.45 และ 12.57 % ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย คิดเป็น 71.33 103.01 และ 44.08 % ตามลำดับ จะเห็นว่าผงสมุนไพรพริกมีการดูดความชื้นได้ดีกว่าเนื่องจากมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ จึงมีการถ่ายเทความชื้นระหว่างบรรยากาศรอบๆ จนความชื้นสมดุลได้ดีที่สุด ตามด้วยผงสมุนไพรขมิ้นเนื่องจากมีความละเอียดมากกว่าผงสมุนไพรพริกไทยจึงมีพื้นที่ผิวมากในการดูดความชื้น เมื่อเพิ่มความชื้นเข้าไปจึงเพิ่มขึ้นมากกว่าผงสมุนไพรพริกไทย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 การวัดค่าวอเตอแอคติวิตี้

จากการตรวจสอบวัดค่าวอเตอแอคติวิตี้ในผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที พบว่าผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นเข้าไปนั้นจะทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้เพิ่มขึ้นด้วย โดยผงสมุนไพรพริกไทยนั้นมีค่าวอเตอแอคติวิตี้สูงที่สุด ตามด้วยขมิ้นและพริกต่ำที่สุด (ตาราง 4.2)

ตาราง 4.2 ค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบค่าวอเตอแอคติวิตี้ของผงสมุนไพร

ผงสมุนไพร	ค่าวอเตอแอคติวิตี้		การเพิ่มขึ้นคิดเป็น (%)
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	
ขมิ้น	0.416	0.734	73.81
พริก	0.407	0.644	56.1
พริกไทย	0.473	0.700	48.94

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)
* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

ผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มความชื้นจะทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้เพิ่มขึ้นด้วย ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีค่าวอเตอแอคติวิตี้เพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.734 0.644 และ 0.700 ตามลำดับ โดยการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอแอคติวิตี้ของผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย คิดเป็น 73.81 56.10 และ 48.94 % ตามลำดับ จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอแอคติวิตี้ในผงสมุนไพรขมิ้นนั้นสูงที่สุด เนื่องจากในการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที บรรยากาศรอบๆ ซึ่งมีความชื้นสูงกว่าก็จะเกิดการถ่ายเทความชื้นให้ผงสมุนไพรขมิ้นซึ่งมีขนาดละเอียดมากจนความชื้นสมดุล ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบๆ มีค่ามากกว่าผงสมุนไพรพริกซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างความชื้นในผงสมุนไพรพริกกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบๆ น้อยกว่า และต่ำสุดคือผงสมุนไพรพริกไทยซึ่งมีการเพิ่มของความชื้นน้อยที่สุดจึงมีการเพิ่มของค่าวอเตอแอคติวิตี้ต่ำ ผงสมุนไพรขมิ้นมีความชื้นสูงและความชื้นสัมพัทธ์นั้นเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ในผงสมุนไพรพริกและพริกไทย จึงทำให้อัตราส่วนระหว่างความชื้นของผงสมุนไพรและความชื้นสัมพัทธ์ (ค่าวอเตอแอคติวิตี้) มีค่าสูงกว่า ถึงแม้ว่าผงสมุนไพรพริกจะมีการเพิ่มขึ้นของความชื้นสูงที่สุดก็ตาม

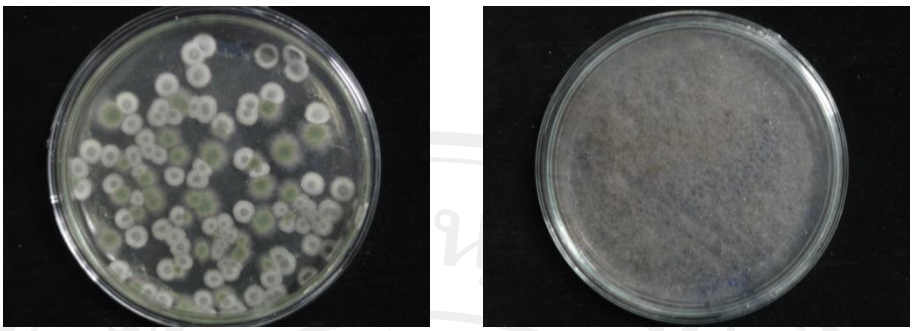
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชื้นเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งรวมทั้งส่วนของน้ำที่เกาะติดอาหาร (bound water) จะถูกใช้ในการสร้างพันธะต่างๆ เช่น พันธะไอออนิกและพันธะไฮโดรเจน และในส่วนของน้ำอิสระ (free water) ซึ่งไม่ถูกใช้ในการสร้างพันธะ จะอยู่ภายในช่องว่างของอาหาร สามารถระเหยออกไปได้ง่าย ส่วนวอเตอแอคติวิตี้เป็นโมเลกุลของน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวไปเป็นไอ ซึ่งเป็นส่วนของน้ำอิสระเท่านั้น อธิบายโดยความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหาร กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบๆ อาหารนั้น อัตราส่วนของทั้งสองเป็นค่าวอเตอแอคติวิตี้ จากกราฟ sorption isotherms (ภาพ 2.1) จะพบว่าเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้เพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเส้นตรง (นิธิยา, 2553)

4.1.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม

จากการตรวจสอบเชื้อราในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ด้วยวิธี Total plate count โดยทำการ spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) พบการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมในผงสมุนไพร ได้แก่ เชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. และ *Rizophus* spp. (ภาพ 4.1) สอดคล้องกับรายงานของ อมรา (2544) พบว่าเชื้อราที่พบในสมุนไพรส่วนใหญ่นั้นเป็นเชื้อราในโรงเก็บ (storage fungi) ได้แก่ เชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* spp. และ *Penicillium* spp. ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้ทำการเก็บตัวอย่างสมุนไพรที่วางขายทั้งชนิดผงเครื่องดื่มละลายน้ำ แบบถุงชง และแบบแคปซูล จำนวน 350 ตัวอย่าง พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อราและแบคทีเรีย ถึง 90 % ผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรหลายชนิดพบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อรากลุ่ม *Aspergillus* spp. เช่น *A. flavus, A. niger, A. tamari* และ *A. aculeatus* และในผลิตภัณฑ์พืชสมุนไพรจากขมิ้นชันพบการปนเปื้อนของเชื้อรา *A flavus* (17.5 %), *A niger* (61 %), *A. tamarii* (40 %), *A. chevalieri* (4 %) และผลการทดลองยังสอดคล้องกับ รังสินี (2550) รายงานว่า เชื้อราในกลุ่ม *Rizophus* spp. จะพบมากที่สุดในอาหารแห้ง โดยจะมีการสร้างเส้นใยสีดำปกคลุมผิวหน้าอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก.) (ข.)

ภาพ 4.1 ลักษณะโคโลนีของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA

(ก.) เชื้อรากลุ่ม *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. และ (ข.) เชื้อรากลุ่ม *Rhizopus* spp.

การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมในผงสมุนไพรพริกไทยสูงที่สุด และในผงสมุนไพรพริกนั้นมีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงสมุนไพรพริกนั้นมีความชื้นต่ำที่สุด และยังมีสาร Capsaicin ซึ่งเป็นสารให้ความเผ็ดร้อน จึงทำให้เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในผงสมุนไพรที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที จะมีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมสูงกว่าผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น โดยการเพิ่มขึ้นของการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย คิดเป็น 32.03 15.75 และ 36.35 % ตามลำดับ (ตาราง 4.3) ซึ่งผงสมุนไพรพริกถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มความชื้นเข้าไปแต่เชื้อรามีการเพิ่มขึ้นน้อย เนื่องจาก พริกมีสาร Capsaicin ซึ่งเป็นสารให้ความเผ็ดร้อน จึงทำให้เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การที่ผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีการปนเปื้อนของเชื้อราที่สูงกว่า ซึ่งมีสาเหตุมาจากสภาพที่ชื้นนั้นเหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา และนอกจากนี้สมุนไพรที่ทำการบดเป็นผงนั้นมีพื้นที่ผิวมากซึ่งสามารถดูดความชื้นได้ดีกว่าสมุนไพรที่เป็นชิ้นตากแห้ง เมื่อเกิดสภาพชื้นจึงทำให้เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดี (อมรา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 ค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม ($x10^5$CFU/ml) ในผงสมุนไพร

ผงสมุนไพร	การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม ($x10^5$CFU/ml)		การเพิ่มขึ้นคิดเป็น (%)
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	
ขมิ้น	16.89	22.30	32.03
พริก	2.73	3.16	15.75
พริกไทย	39.64	54.05	36.35

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)
* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

4.1.4 การตรวจสอบคุณภาพสี

การตรวจสอบคุณภาพสีของผงสมุนไพรขมิ้น พริก และ พริกไทย ที่ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที แสดงผลเป็น ค่า L* a* และ b* โดยค่า L* แสดงค่าความสว่าง ค่า a* แสดงค่าสีแดง และค่า b* แสดงค่าสีเหลือง (ตาราง 4.4) ผลการทดลองพบว่าผงสมุนไพรพริกไทยจะมีค่าความสว่างสูงที่สุด รองลงมาคือผงสมุนไพรขมิ้นและพริกตามลำดับ ผงสมุนไพรพริกไทยมีสีขาวขุ่นจึงมีค่าความสว่างกว่าผงสมุนไพรขมิ้นซึ่งมีสีเหลือง ส่วนผงสมุนไพรพริกมีสีแดงคล้ำนั้นจึงมีค่าความสว่างต่ำที่สุด เมื่อทำการเพิ่มความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที พบว่าผงสมุนไพรขมิ้นและพริกมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น แต่ผงสมุนไพรพริกไทยนั้นพบว่ามีค่าความสว่างลดลง เนื่องจากผงสมุนไพรพริกไทยมีสีขาวขุ่นเมื่อถูกความชื้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้นทำให้มีความสว่างน้อยลง จากการตรวจสอบค่าสีแดงในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย พบว่า ผงสมุนไพรขมิ้นจะมีค่าสีแดงสูงที่สุด รองลงมาคือ ผงสมุนไพรพริกและพริกไทย ตามลำดับ ผงสมุนไพรขมิ้นมีสีเหลืองสดจึงมีค่าสีแดงสูงกว่าผงสมุนไพรพริกซึ่งมีสีแดงคล้ำ ส่วนผงสมุนไพรพริกไทยซึ่งมีสีขาวขุ่นนั้นจึงมีค่าสีแดงต่ำที่สุด เมื่อทำการเพิ่มความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที พบว่าผงสมุนไพรขมิ้นและพริกมีค่าสีแดงลดลง แต่ผงสมุนไพรพริกไทยนั้นพบว่ามีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงสมุนไพรพริกไทยมีสีขาวขุ่นเมื่อถูกความชื้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้นจึงมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น จากการตรวจสอบค่าสีเหลืองในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย พบว่าผงสมุนไพรขมิ้นจะมีค่าสีเหลืองสูงที่สุด รองลงมาคือ ผงสมุนไพรพริกและพริกไทย ตามลำดับ ผงสมุนไพรขมิ้นมีสีเหลืองสดจึงมีค่าสีเหลืองสูงกว่าผงสมุนไพรพริกซึ่งมีสีแดงคล้ำ ส่วนผงสมุนไพรพริกไทยซึ่งมีสีขาวขุ่นนั้นจึงมีค่าสีเหลืองต่ำที่สุด เมื่อทำการเพิ่มความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พริกไทย ด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที พบว่าผงสมุนไพรขมิ้นและพริกไทยมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น แต่ผงสมุนไพรพริกนั้นพบว่ามีค่าสีเหลืองลดลง เนื่องจากผงสมุนไพรพริกมีสีแดงคล้ำเมื่อถูกความชื้นจะทำให้มีสีคล้ำมากกว่าผงสมุนไพรที่ไม่ได้ทำการเพิ่มความชื้น จึงทำให้มีค่าสีเหลืองลดลง

ตาราง 4.4 ค่าเฉลี่ยของค่าสี L* a* และ b* ของผงสมุนไพร

ผงสมุนไพร	L*	a*	b*	L*	a*	b*
	ตัวอย่างแห้ง			ตัวอย่างชื้น		
ขมิ้น	51.85	28.28	53.99	51.89	26.89	54.03
พริก	41.41	17.56	30.75	41.72	14.18	26.72
พริกไทย	66.92	1.89	16.35	65.92	1.93	17.07

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)
* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

4.1.5 การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก

จากการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ช่วงความถี่ 0-30 MHz ด้วยเครื่อง Impedance analysis ในผงสมุนไพรขมิ้น, พริก และพริกไทย ที่ความชื้นเริ่มต้นและที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที พบว่าค่า dielectric constant (ε') ทั้งสองระดับความชื้นมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) โดยพบว่าค่า dielectric constant (ε') ที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที ของผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย สูงกว่าที่ความชื้นเริ่มต้น (ภาพ 4.2) แสดงว่าที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานฟ้าไว้ได้ดีกว่าผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น และค่า dielectric constant (ε') ที่ทุกความถี่มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) โดยค่า dielectric constant (ε') ลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แสดงว่าที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าลดลง โดยคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 27.12 MHz แสดงว่าที่ความถี่ดังกล่าวนี้มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าที่ความถี่ 11.56 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร วิทยาศาสตร์ และการแพทย์

ค่า dielectric loss factor (ε'') ของผงสมุนไพรขมิ้นและพริก ที่ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) โดยพบว่าค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

dielectric loss factor (ε'') ที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที สูงกว่าที่ความชื้นเริ่มต้น (ภาพ 4.3) ยกเว้นผงสมุนไพรพริกไทย แสดงว่าผงสมุนไพรขมิ้นและพริกที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีความสามารถที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูงและเกิดได้อย่างรวดเร็วกว่าที่ความชื้นเริ่มต้น ผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ทั้งสองระดับความชื้นพบว่ามีค่า dielectric loss factor (ε'') ทุกความถี่มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) โดยค่า dielectric loss factor (ε'') จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แสดงว่าที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ผงสมุนไพรมีความสามารถในการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้ดีขึ้น โดยคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 27.12 MHz แสดงว่าที่ความถี่ดังกล่าวนี้มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้ามากกว่าที่ความถี่ 11.56 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร วิทยาศาสตร์ และการแพทย์

ค่า loss tangent ($\tan\delta$) ของผงสมุนไพรขมิ้นและพริก ที่ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) พริกไทย โดยพบว่าค่า loss tangent ($\tan\delta$) ที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที สูงกว่าที่ความชื้นเริ่มต้น ยกเว้นในผงสมุนไพร (ภาพ 4.4) แสดงว่าผงสมุนไพรขมิ้นและพริกที่ความชื้นเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าที่ความชื้นเริ่มต้น จึงทำให้ก็เกิดความร้อนได้ดีกว่า ยกเว้นผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าทั้งสองระดับความชื้นมีระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนไม่แตกต่างกัน ผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ทั้งสองระดับความชื้น พบว่ามีค่า loss tangent ($\tan\delta$) ในทุกความถี่มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) โดยค่า loss tangent ($\tan\delta$) เพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แสดงว่าที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ผงสมุนไพรมีระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนมากกว่า โดยคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 27.12 MHz แสดงว่าที่ความถี่ดังกล่าวนี้มีระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าที่ความถี่ 11.56 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร วิทยาศาสตร์ และการแพทย์

จากผลการทดลองพบว่า ค่า dielectric constant (ε') ของผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีค่าสูงกว่าที่ระดับความชื้นเริ่มต้น และค่า dielectric constant (ε') จะลดลงเมื่อเพิ่มความถี่ ค่า dielectric loss factor (ε'') และค่า loss tangent ($\tan\delta$) ของผงสมุนไพรขมิ้นและพริก ที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีค่าสูงกว่าที่ระดับความชื้นเริ่มต้น โดยค่า dielectric loss factor (ε'') และค่า loss

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

tangent (tanδ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่ เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว โครงสร้างของน้ำภายในวัตถุจะมีพันธะ น้ำจึงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดในช่วงความถี่ต่างๆ น้ำยังมีผลต่อความหนาแน่นกองวัตถุและอุณหภูมิ เมื่อความหนาแน่นของวัตถุเปลี่ยนก็จะทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Trabelsi and Nelson, 2003) รูปแบบของน้ำและเกลือแร่ที่เป็นองค์ประกอบอาหาร ลักษณะทางกายภาพของอาหาร อุณหภูมิ และความถี่ของคลื่นความถี่วิทยุจะมีผลต่อปริมาณพลังงานของที่ถูกดูดซับโดยน้ำที่อยู่ในรูปน้ำอิสระ (free water) จะดูดซับพลังงานจากคลื่นได้ดีกว่าน้ำที่จับอยู่กับสารประกอบอื่นๆ (bound water) เช่น น้ำที่จับกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต ส่วนเกลือแร่ถ้าอยู่ในรูปที่แตกตัวจะทำให้อาหารนั้นดูดซับคลื่นได้ดีกว่าเกลือแร่ที่รวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นต้น (Singh and Heldman, 2001) สอดคล้องกับรายงานของ Padua (1993) พบว่า น้ำที่สร้างพันธะเคมีจะมีอิทธิพลต่อ dielectric properties ของวัตถุน้อยกว่าน้ำที่ไม่สร้างพันธะ ซึ่งก็คือ น้ำอิสระ (free water) ปริมาณน้ำและองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร เช่น เกลือ เป็นโมเลกุลที่มีขั้วจึงมีอิทธิพลต่อ dielectric properties โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวกำหนด (Houben et al., 1991) นอกจากนี้ปริมาณน้ำยังมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า dielectric constant (ε') ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า dielectric loss factor (ε") นั้น ความชื้นในวัตถุมีความสัมพันธ์กับค่า dielectric loss factor (ε") เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า dielectric loss factor (ε") เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ของทั้งสองเป็นแบบเส้นตรง (linearly) จะส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติของวัตถุนั้น (Bengtsson and Risman, 1971) และยังสอดคล้องกับ Trabelsi and Nelson (2003) รายงานว่า ทั้งค่า dielectric constant (ε') และ ค่า dielectric loss factor (ε") ของเมล็ดข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่วเหลือง มีผลมาจากปฏิสัมพันธ์ของน้ำกับสนามไฟฟ้า นอกจากนี้ค่า dielectric constant (ε') และค่า dielectric loss factor (ε") ยังขึ้นกับลักษณะผิวเมล็ด และปริมาณความชื้นที่จำเพาะของเมล็ดแต่ละชนิดอีกด้วย เมล็ดที่แห้งจะมีอิทธิพลต่อ dielectric properties เพียงเล็กน้อยเท่านั้น Singh and Heldman (2001) รายงานว่า ค่า dielectric constant (ε') แสดงถึงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ความชื้นของอาหาร และความถี่ในสนามไฟฟ้า โดยเมื่อความถี่ในสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าระดับหนึ่งโมเลกุลจะไม่อิสระเต็มที่ ทำให้ประสิทธิภาพของ dipole moment ซึ่งเป็นความแข็งแรงของประจุลดลง จึงทำให้ค่า dielectric constant (ε') ลดลง ค่า dielectric loss factor (ε") แสดงถึงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูงและเกิดได้อย่างรวดเร็ว ค่า dielectric loss factor (ε") ทำให้ทราบเกี่ยวกับความสามารถในการเป็นฉนวนไฟฟ้า (electrical insulating ability) ของวัตถุ ซึ่งวัตถุที่เป็นอาหารเป็นฉนวนที่ไม่ดี ดังนั้นวัตถุที่เป็นอาหารจึงมักจะดูดซับพลังงานส่วน

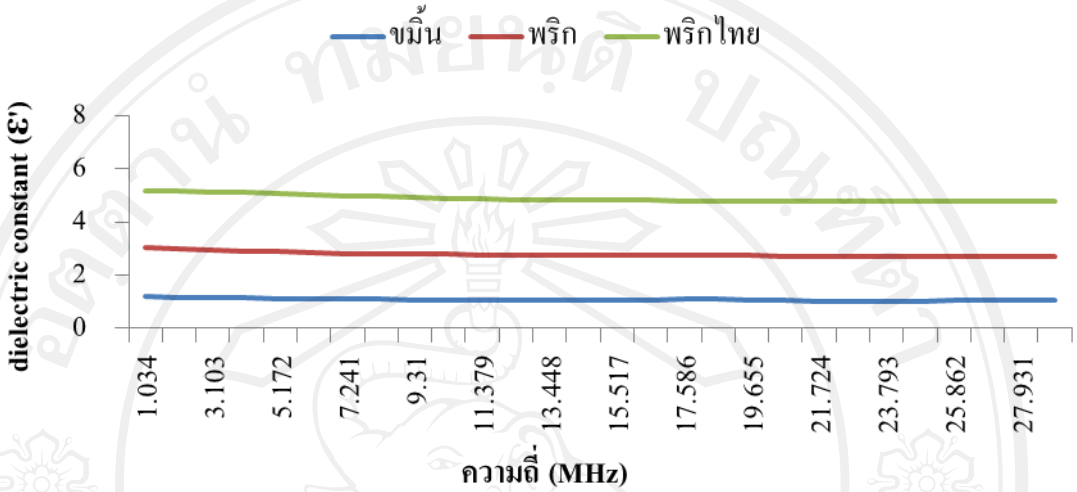
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใหญ่ไว้เมื่อสัมผัสกับคลื่นความถี่วิทยุและส่งผลทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่ง dipole จะหมุนตามสนามไฟฟ้าโดยอิสระและมีพลังงานถูกถ่ายเทไปยังสิ่งแวดล้อมน้อยมาก เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะยากขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงานโดยรอบๆ มากขึ้น ทำให้วัตถุมีการดูดซับพลังงานจะน้อยมาก การดูดซับพลังงานจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อเพิ่มคลื่นถึงจุดหนึ่ง แต่ถ้าเพิ่มความถี่ไปเรื่อยๆ ถึงระดับหนึ่ง dipole จะไม่สามารถหมุนไปมาตามการสลับขั้วของสนามไฟฟ้าที่ความถี่สูงมากนั้นได้ การดูดซับจึงเท่ากับศูนย์ ส่วนค่า loss tangent (tanδ) แสดงถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น และค่า loss tangent (tan δ) สามารถใช้ประมาณความยาวคลื่นและความลึกในการทะลุทะลวงภายในวัตถุได้ ความยาวคลื่นภายในวัตถุจะลดลงหากวัสดุมีค่า dielectric loss factor (ε'') และความถี่เพิ่มมากขึ้น หากค่า dielectric constant (ε') และค่า loss tangent (tan δ) ของวัตถุมีค่ามากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานจากคลื่นความถี่วิทยุและปริมาณความร้อนมากขึ้นตาม แต่ถ้าค่า dielectric constant (ε') และ ค่า loss tangent (tan δ) มีค่าน้อย คลื่นความถี่วิทยุจะทะลุผ่านวัตถุไดอิเล็กตริกโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น

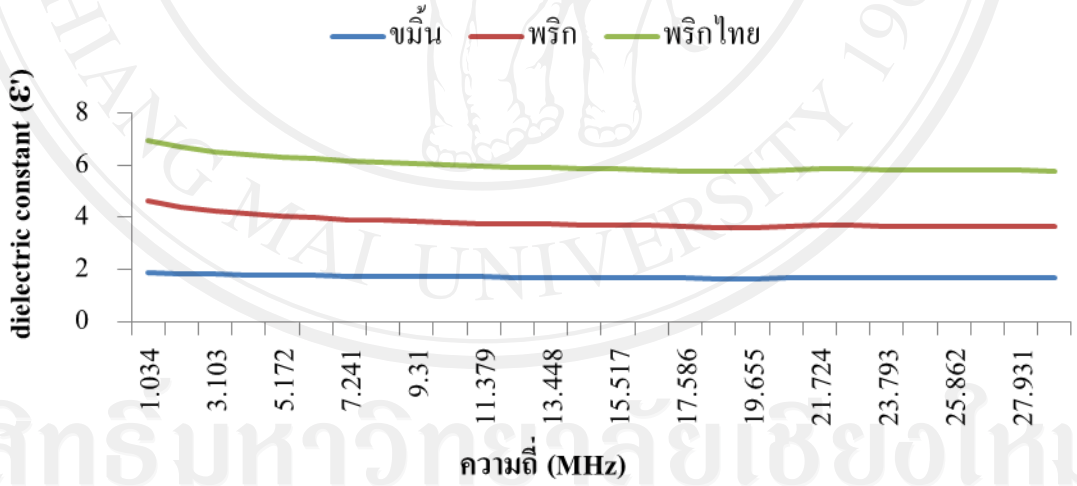
และจากการทดลองพบว่าผงสมุนไพรพริกไทยนั้นมีค่า dielectric constant (ε') ค่า dielectric loss factor (ε'') และค่า loss tangent (tan δ) สูงที่สุด ตามด้วยผงสมุนไพรพริก ซึ่งมีความชื้นต่ำที่สุด ส่วนผงสมุนไพรขมิ้นพบว่า มีค่า dielectric constant (ε') ค่า dielectric loss factor (ε'') และค่า loss tangent (tan δ) ต่ำที่สุด การที่คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของผงสมุนไพรแต่ละชนิดนั้นมีค่าไม่เท่ากันมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่เหมือนกัน ดังนี้ ขมิ้น (Turmeric) มีองค์ประกอบหลักเป็นสาร Turmerone 35 %, Zingiberene 25 % และ Ar-Turmerone 12 % เมื่อสกัดด้วยแอลกอฮอล์ หรือ อะซิโตนเมทิลคลอไรด์จะได้ Oleosin 6-10 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสาร Curcumin (35-45 %) และ Derivatives สาร Curcumin เป็นสารที่ทำให้เหง้าขมิ้นมีสีเหลืองส้ม (พิทยา, 2551) พริก (Chilli) พริกประกอบด้วยสารที่มีรสเผ็ดตั้งแต่ 0.1-1 % สารที่มีรสเผ็ดร้อนคือ Capsaicin, Dihydocapsaicin, Nordihydocapsaicin, Homocapsaicin และ Homodihydocapsaicin สองชนิดหลังพบในปริมาณน้อย ซึ่งสารที่ให้ความเผ็ดนี้จะอยู่ที่ไส้ของพริก ส่วนพริกไทยดำมีน้ำมันหอมระเหยอยู่ 2-4 % มีอัลคาลอยด์หลัก คือ Piperine 5-9 % อัลคาลอยด์ชนิดอื่นๆ ที่พบมี Piperidine และ Piperrettine ส่วนอัลคาลอยด์ที่พบในปริมาณน้อย คือ Piperyline, Piperolein A, Piperolein B และ Piperanine โดย Piperine และ Piperanine เป็นอัลคาลอยด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นฉุนและรสเผ็ด ทั้งพริกไทยล่อนและพริกไทยซึ่งมีปริมาณอัลคาลอยด์เท่ากัน (รุ่งรัตน์, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Nelson et al. (2007) พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า dielectric

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

constant (ε') และค่า dielectric loss factor (ε") ได้แก่ ความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อุณหภูมิ ความชื้น โครงสร้าง ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุ



(ก.)

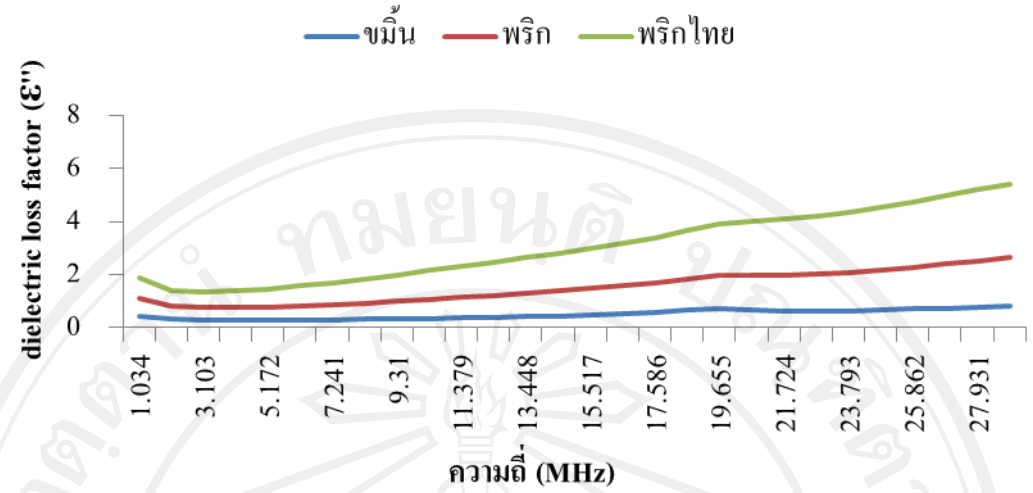


(ข.)

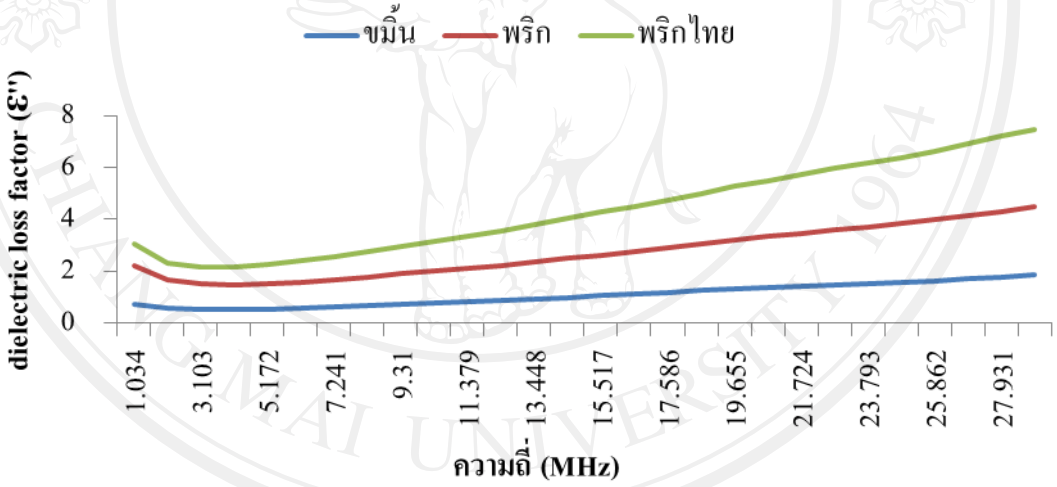
ภาพ 4.2 ค่า dielectric constant (ε') ของผงสมุนไพร

(ก.) ความชื้นเริ่มต้น และ (ข.) ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก.)

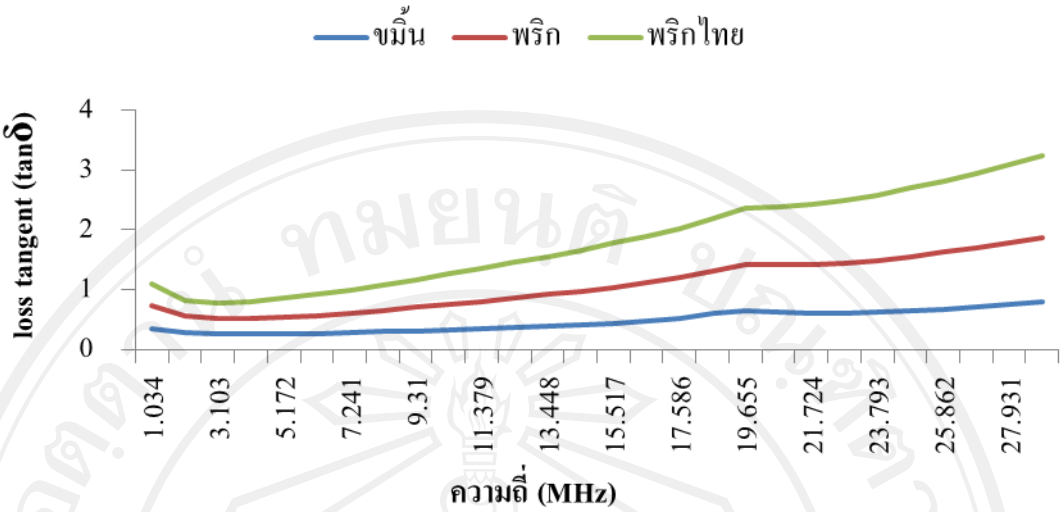


(ข.)

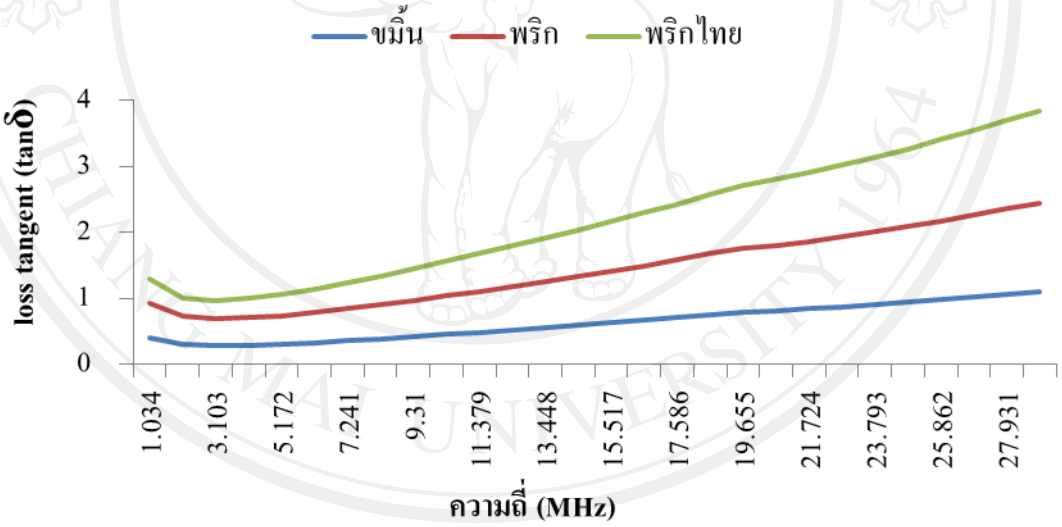
ภาพ 4.3 ค่า dielectric loss factor (Ɛ'') ของผงสมุนไพร

(ก.) ความชื้นเริ่มต้น และ (ข.) ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก.)



(ข.)

ภาพ 4.4 ค่า loss tangent (tanδ) ของผงสมุนไพร

(ก.) ความชื้นเริ่มต้น และ (ข.) ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 คุณภาพของผงสมุนไพรหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

4.2.1 การตรวจสอบความชื้น

จากการตรวจสอบความชื้นเบื้องต้นด้วยวิธี Hot air oven method ในผงสมุนไพรขมิ้น, พริก และพริกไทย พบว่ามีความชื้นเริ่มต้น 9.66 5.64 และ 8.60 % ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้นและพริกมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) แต่ความชื้นในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าไม่แตกต่างกัน ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ความชื้นลดลงไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น แต่ที่อุณหภูมิ 85 ºC นั้นพบว่าความชื้นลดลงและมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 9.20 % ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 ºC ความชื้นลดลงไม่ต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น แต่ที่อุณหภูมิ 75 และ 85 ºC นั้นทำให้ความชื้นลดลงแต่ไม่แตกต่างกันโดยมีความชื้น เท่ากับ 5.31 และ 5.21 % ตามลำดับ (ตาราง 4.5) เมื่อตรวจสอบความชื้นผงสมุนไพรที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย พบว่ามีความชื้นเพิ่มเป็น 16.55 11.45 และ 12.57 % ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ทำให้ความชื้นลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน และที่อุณหภูมิ 85 ºC นั้นพบว่ามีความชื้นต่ำที่สุด เท่ากับ 12.90 % ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ75 ºC ทำให้ความชื้นลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน และที่อุณหภูมิ 85 ºC ความชื้นลดลงเหลือ 8.12 % แต่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิ 75 ºC ซึ่งมีความชื้น เท่ากับ 8.35 % ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 ºC ทำให้ความชื้นลดลง และที่อุณหภูมิ 75 และ 85 ºC พบว่าความชื้นลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 10.32 และ 10.06 % ตามลำดับ (ตาราง4.5)

ผลการทดลองของผงสมุนไพรทั้งสองระดับความชื้นจะพบว่าเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิสูงในผงสมุนไพรที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที จะมีการลดลงของความชื้นมากกว่าผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น และการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะพบว่าความชื้นลดลงได้ดี ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ ใจทิพย์ (2538) พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้เร็ว และทำให้ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกต่ำกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ กิตติศักดิ์และคณะ (2553) พบว่าอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 65 ºC มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิลมร้อน 55 และ 45 ºC ซึ่งผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผงสมุนไพรพริกที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที จะมีการลดลงของความชื้นสูงที่สุดเนื่องจากผงสมุนไพรพริกที่ความชื้นเริ่มต้นมีความชื้นต่ำที่สุด เมื่อเทียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับผงสมุนไพรขมิ้นและพริกไทย เมื่อเพิ่มความชื้นเข้าไปก็จะมีการดูดความชื้นเข้าไปได้มาก เมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิต่างๆ ก็จะตอบสนองได้ดีกว่า ทำให้อัตราการลดลงของความชื้นมากกว่า ส่วนผงสมุนไพรพริกไทยมีการดูดและคายความชื้นได้น้อย โดยที่ความชื้นเริ่มต้นนั้นมีอัตราการลดลงของความชื้นน้อยที่สุด เมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุในทุกระดับอุณหภูมิก็จะทำให้ความชื้นลดลงน้อย ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ ผดุงศักดิ์และคณะ (2547) พบว่า ในการอบแห้งโดยใช้คุณสมบัติไดอิเล็กตริกนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ความชื้นภายในวัตถุจึงระเหยได้อย่างรวดเร็วในเวลาสั้น และในวัตถุที่มีน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจะมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัววัตถุมาก ดังนั้นจึงมีการตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุได้มากกว่า วัตถุจึงเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดเป็นความร้อนได้มากกว่าวัตถุที่มีน้ำอยู่น้อย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551)

การลดความชื้นผงสมุนไพรโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน โดยจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนจากการทำให้โมเลกุลที่มีขั้วเกิดการเสียดสีกันและเกิดเป็นความร้อนขึ้นตามความถี่ เช่น ถ้าคลื่นมีความถี่ 27 MHz ขั้วก็จะเปลี่ยนแปลงทิศทาง 27 ล้านครั้งใน 1 วินาที อย่างต่อเนื่องมีผลทำให้เกิดการสั่นของพลังงาน เมื่อมีปริมาณความร้อนที่เหมาะสมจะเริ่มเกิดแรงต้านจากการเสียดสี เกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างโมเลกุล ทำให้โมเลกุลชนกันเป็นแหล่งความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัตถุ (Piyasena et al., 2003) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Janhang et al. (2005) พบว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ระดับความถี่ 27.12 MHz ที่อุณหภูมิ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที ในเมล็ดข้าวเปลือกทำให้ความชื้นลดลงต่ำสุดเท่ากับ 9.3 % ณคณิณและคณะ (2551) และ Theanjumpol et al. (2007) พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 90 ºC เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ความชื้นข้าวเปลือกลดลงต่ำสุดเช่นกัน พัทยาและสุชาดา (2549) รายงานว่าการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 ºC เป็นเวลา 3 นาที ในเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ความชื้นเริ่มต้น 10.4 % พบว่าความชื้นลดลงเหลือ 9.5 % นอกจากนี้ พลากรและคณะ (2553) พบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 70 85 และ 100 ºC ในข้าวเปลือกปทุมธานี 1 ความชื้น 13-14 % เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผงสมุนไพรหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

อุณหภูมิ (ºC)	ความชื้น (%)					
	ขมิ้น		พริก		พริกไทย	
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น
control	9.66a	16.55a	5.64a	11.45a	8.60ab	12.57a
65	9.55a	14.35b	5.73a	8.71b	8.70a	11.23b
75	9.54a	14.11b	5.31b	8.35bc	8.34b	10.32c
85	9.20b	12.90c	5.21b	8.12c	8.42ab	10.06c
F-test	**	**	**	**	ns	**
LSD	0.1443	0.5109	0.303	0.4414	0.3214	0.5274
% CV	0.99	2.29	3.59	3.13	2.25	3.1

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตัวอักษรเดียวกันหลังตัวเลขในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)

* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 การวัดค่าวอเตอแอคติวิตี้

จากการวัดค่าวอเตอแอคติวิตี้ด้วยเครื่อง Novasina aw-box ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ความชื้นเริ่มต้นนั้นมีค่าวอเตอแอคติวิตี้ เท่ากับ 0.416 0.407 และ 0.473 ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าวอเตอแอคติวิตี้ ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC ทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 0.404 0.401 และ 0.401 ตามลำดับ ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลง และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่าค่าวอเตอแอคติวิตี้ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.365 ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลง และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่าค่าค่าวอเตอแอคติวิตี้ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.364 (ตาราง 4.6) และเมื่อทำการวัดค่าวอเตอแอคติวิตี้ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที ซึ่งมีค่าวอเตอแอคติวิตี้ เท่ากับ 0.734 0.644 และ 0.700 ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าวอเตอแอคติวิตี้ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ระดับความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน และที่อุณหภูมิ 85 ºC นั้นพบว่ามีค่าวอเตอแอคติวิตี้ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.620 ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ75 ºC ทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลง และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่าค่าวอเตอแอคติวิตี้ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.568 ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลง และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่าค่าวอเตอแอคติวิตี้ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.538 (ตาราง 4.6)

ผลการทดลองของผงสมุนไพรทั้งสองระดับความชื้นจะพบว่าเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิสูง ผงสมุนไพรที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที จะมีการลดลงของค่าวอเตอแอคติวิตี้มากกว่าผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น ผงสมุนไพรที่มีความชื้นสูงเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุจึงตอบสนองได้ดีกว่าที่ความชื้นต่ำ ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ รังสินี (2550) รายงานว่า การทำแห้งเป็นการลดความชื้นที่มีอยู่ในอาหารทำให้น้ำอิสระระเหยออกไป ซึ่งการลดความชื้นจะทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ของอาหารลดลง เป็นการหยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์และยังหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ ใจทิพย์ (2538) พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้เร็ว และทำให้ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกต่ำกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ กิตติศักดิ์ (2553) พบว่าอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 65 ºC มีค่าสูงกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิลมร้อน 55 และ 45 ºC ปิยะวรรณและยุวนารี (2550) พบว่า ค่าความชื้นมีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอแอคติวิตี้ โดยค่าวอเตอแอคติวิตี้จะลดลงเร็วเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าความชื้นลดลงมาก ผดุงศักดิ์และคณะ (2547) รายงานว่า การใช้ความถี่วิทยุเพื่อลดความชื้นใช้คุณสมบัติไดอิเล็กตริก ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอความชื้นภายในวัตถุจึงระเหยได้อย่างรวดเร็วในเวลาสั้น และเมื่อมองโดยรวมจะพบว่าผงสมุนไพรขมิ้นที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที จะมีการลดลงของค่าวอเตอแอคติวิตี้สูงที่สุด เนื่องจากผงสมุนไพรขมิ้นมีความชื้นสูง ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอแอคติวิตี้สูงที่สุด เมื่อทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาทีเข้าไป และเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิต่างๆ ก็จะตอบสนองได้ดีกว่า ทำให้อัตราการลดลงของค่าวอเตอแอคติวิตี้มากที่สุด ตามด้วยผงสมุนไพรพริกไทย ส่วนผงสมุนไพรที่มีการลดลงของค่าวอเตอแอคติวิตี้น้อยที่สุด ได้แก่ ผงสมุนไพรพริกที่ความชื้นเริ่มต้น ผงสมุนไพรพริกมีความชื้นต่ำและเมื่อทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที ความชื้นสัมพัทธ์รอบๆ นั้นมีค่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ในผงสมุนไพรขมิ้นและพริกไทย จึงทำให้อัตราส่วนระหว่างความชื้นของผงสมุนไพรและความชื้นสัมพัทธ์ (ค่าวอเตอแอคติวิตี้) มีค่าต่ำกว่า ดังนั้น ค่าวอเตอแอคติวิตี้จึงค่อยๆ ลดลงตามระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการลดลงของค่าวอเตอแอคติวิตี้น้อยที่สุด

ความชื้นในบรรยากาศรอบๆ ที่สูงกว่าก็จะเกิดการถ่ายเทความชื้นให้ผงสมุนไพรขมิ้นซึ่งมีขนาดละเอียดมากจนความชื้นสมดุล ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความชื้นในผงสมุนไพรขมิ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบๆ (ค่าวอเตอแอคติวิตี้) ก็จะมีค่ามากกว่าผงสมุนไพรพริกซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของความชื้นมาก และผงสมุนไพรพริกไทยที่มีการเพิ่มของความชื้นน้อยที่สุด ผงสมุนไพรขมิ้นมีความชื้นสูงและความชื้นสัมพัทธ์นั้นเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ในผงสมุนไพรพริกและพริกไทย จึงทำให้อัตราส่วนระหว่างความชื้นของผงสมุนไพรและความชื้นสัมพัทธ์ (ค่าวอเตอแอคติวิตี้) มีค่าสูงกว่า ถึงแม้ว่าผงสมุนไพรพริกจะมีการเพิ่มขึ้นของความชื้นสูงที่สุดก็ตาม

ผงสมุนไพรพริกไทยที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีอัตราการลดลงของค่าวอเตอแอคติวิตี้สูงที่สุด (ภาพ 4.6) คิดเป็นการลดลงของค่าวอเตอแอคติวิตี้ถึง 23.14 % สอดคล้องกับรายงานของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2551) พบว่า ในวัตถุที่มีน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจะมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัววัตถุมาก ดังนั้นวัตถุที่มีน้ำอยู่มากจึงมีการตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุได้มากกว่า วัตถุจึงเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดเป็นความร้อนได้สูงกว่าวัตถุที่มีน้ำอยู่น้อย ความชื้นที่มีอยู่ก็จะระเหยออกไปได้เร็วกว่า และเมื่อความชื้นลดลงก็ทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลงไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นิธิยา (2553) รายงานว่า ในอาหารที่มีความชื้นสูงหรือปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง จะมีค่าวอเตอแอคติวิตี้เท่ากับ 1.0 และเมื่ออาหารมีความชื้นต่ำลง หรือปริมาณน้ำน้อยกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง ค่าวอเตอแอคติวิตี้จะลดลงต่ำกว่า 1.0 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารมีหน่วยเป็นกรัมของน้ำต่อกรัมน้ำหนักแห้งของอาหาร เมื่ออาหารมีความชื้นลดลงประมาณ 50 % ของทั้งหมด จะทำให้ค่าวอเตอแอคติวิตี้ลดลงอย่างรวดเร็ว ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอแอคติวิตี้ยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย

ตาราง 4.6 ค่าวอเตอแอคติวิตี้ของผงสมุนไพรหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

อุณหภูมิ (ºC)	ค่าวอเตอแอคติวิตี้					
	ขมิ้น		พริก		พริกไทย	
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น
control	0.416a	0.734a	0.407a	0.644a	0.473a	0.700a
65	0.404b	0.674b	0.393b	0.605b	0.421b	0.608b
75	0.401b	0.666b	0.374c	0.580c	0.340c	0.568c
85	0.401b	0.623c	0.365d	0.568d	0.364d	0.538d
F-test	**	**	**	**	**	**
LSD	0.0039	0.0105	0.0055	0.0104	0.0076	0.0083
% CV	0.64	1.01	0.94	1.13	1.19	0.90

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตัวอักษรเดียวกันหลังตัวเลขในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)
* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 การตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม

จากการตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมด้วยวิธี Total plate count ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทยที่ความชื้นเริ่มต้น มีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม 16.89 2.73 และ 39.64 ($x10^5$CFU/ml) ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าการปนเปื้อนของเชื้อราโดยรวมในผงสมุนไพรขมิ้นและพริกไทยมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) แต่ในผงสมุนไพรพริกพบว่าไม่แตกต่างกัน ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ทำให้การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลง และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่ามีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 2.53 ($x10^5$CFU/ml) ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุทุกระดับอุณหภูมิทำให้การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลงไม่ต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่า การให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC ทำให้การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน โดยมีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม เท่ากับ 7.21 4.28 และ 4.05 ($x10^5$CFU/ml) ตามลำดับ (ตาราง 4.7)

จากการตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมด้วยวิธี Total plate count ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม 22.30 3.16 และ 54.05 ($x10^5$ CFU/ml) ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ระดับความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$ $P<0.05$ และ $P<0.01$ ตามลำดับ) ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC ทำให้การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน โดยมีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลงเหลือ 3.11 2.31 และ 2.13 ($x10^5$ CFU/ml) ตามลำดับ ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 ºC การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที และไม่แตกต่างจากอุณหภูมิ 75 ºC ซึ่งมีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมเท่ากับ 1.92 ($x10^5$ CFU/ml) และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่าการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลงเหลือ 1.21 ($x10^5$ CFU/ml) ซึ่งไม่แตกต่างจากอุณหภูมิ 75 ºC ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC ทำให้การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลง โดยที่อุณหภูมิ 85 ºC การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมลดลงมากที่สุด เหลือ 1.43 ($x10^5$ CFU/ml) (ตาราง 4.7)

ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ วิไล (2545) พบว่า อัตราการตายของจุลินทรีย์ขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ตายเร็วขึ้น และในทางทฤษฎีไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด แม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าไหร่ก็ตาม ในการอบแห้งผลิตผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางการเกษตรด้วยอุณหภูมิสูงจะช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อราได้ ซึ่งศิวลักษณ์ และคณะ (2537) พบว่าการอบมะขามที่แห้งแล้วด้วยเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70-80 °C นาน 1 ชั่วโมง สามารถฆ่าแมลงและเชื้อราได้ รัตตาและอมรา (2550) รายงานว่า การอบแห้งพริกที่อุณหภูมิ 70 และ 100 °C นาน 12 ชั่วโมง พบสปอร์ของเชื้อรา *A. flavus* 13.75 % และ 12.83 % ตามลำดับ จาก 30.25 % ซึ่งเป็นสปอร์ที่พบก่อนอบแห้งพริก ระดับอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อการงอกของสปอร์เชื้อรา *A. flavus* แต่ไม่สามารถยับยั้งการงอกทั้งหมด นอกจากนี้การอบแห้งพริกหลังเก็บเกี่ยวที่มีการปนเปื้อนของสปอร์เชื้อรา *A. flavus* ที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 12 ชั่วโมง จะช่วยลดการเกิดสาร aflatoxin ได้ดีกว่าการตากแห้ง 22 %

จากการผลการทดลองของผงสมุนไพรทั้งสองระดับความชื้นจะพบว่าเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุในผงสมุนไพรที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที จะมีการลดลงของเชื้อรามากกว่าผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น ผงสมุนไพรที่มีความชื้นสูงเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุจึงตอบสนองได้ดีกว่าที่ระดับความชื้นเริ่มต้น สอดคล้องกับรายงานของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2551) พบว่าในวัตถุที่มีน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจะมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัววัตถุมาก ดังนั้นจึงมีการตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุได้มากกว่า วัตถุจึงเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดเป็นความร้อนได้มากกว่าวัตถุที่มีน้ำอยู่น้อย การเกิดความร้อนของคลื่นความถี่วิทยุอาศัยคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ความชื้นภายในวัตถุจึงระเหยได้อย่างรวดเร็วในเวลาสั้น (ผดุงศักดิ์และคณะ, 2547) นอกจากนี้ Singh and Heldman (2001) รายงานว่า คลื่นความถี่วิทยุทำให้เกิดความร้อนในวัตถุ และอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และคลื่นความถี่วิทยุทำให้โมเลกุลของน้ำให้เซลล์ของเชื้อราเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วจึงเกิดเป็นความร้อนขึ้น จนทำลายเซลล์ให้ตายได้ ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาและอุณหภูมิ ขณะที่น้ำภายนอกเซลล์เชื้อราที่มีอยู่ในวัตถุก็เป็นสาเหตุทำให้เชื้อราตายได้เช่นกัน ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจากคลื่นความถี่วิทยุทำให้เชื้อราถูกทำลายนั้น สอดคล้องกับ รังสินี (2550) รายงานว่า ความร้อนมีผลทำให้โปรตีนที่สำคัญคือ เอนไซม์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์ที่อยู่ในเซลล์ของเชื้อรานั้นเกิดการเสื่อมสภาพทำให้เชื้อราถูกทำลาย เซลล์และสปอร์ของเชื้อราถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 60 ºC ใช้เวลา 10-15 นาที หรือที่อุณหภูมิ 90 ºC ใช้เวลา 1 นาที ซึ่งอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อความต้านทานความร้อนของเชื้อได้เช่นกัน การให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงพอถึงแม้จะใช้เวลานานก็ไม่สามารถทำลายสปอร์ได้ กลับเป็นการกระตุ้นให้มีการงอกและเจริญเร็วขึ้น โดยทั่วไปการใช้อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพสูงทำให้ใช้เวลาน้อยลง ส่วนเวลาที่ให้ความร้อนจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตผล และเมื่อมองโดยรวมจะพบว่าในผงสมุนไพรพริกไทยที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีการตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ดี การลดลงของเชื้อราสูงที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิต่างๆ เนื่องจากมีความชื้นสูง และมีการปนเปื้อนเชื้อราโดยรวมสูง นอกจากนี้ยังพบว่ามีค่า dielectric constant (ε') ค่า dielectric loss factor (ε") และค่า loss tangent (tan δ) สูงที่สุด (ภาพ 4.2-4.4) ซึ่งทำให้การตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุได้ดี สอดคล้องกับ Singh and Heldman (2001) รายงานว่า ค่า dielectric constant (ε') แสดงถึงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่า dielectric constant (ε') จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ความชื้นของอาหาร และความถี่ในสนามไฟฟ้า เมื่อความถี่ในสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าระดับหนึ่งโมเลกุลจะไม่อิสระเต็มที่ทำให้ประสิทธิภาพของ dipole moment ซึ่งเป็นความแข็งแรงของประจุลดลง ทำให้ค่า dielectric constant (ε') ลดลง ค่า dielectric loss factor (ε") แสดงถึงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูงและเกิดได้อย่างรวดเร็ว ค่า dielectric loss factor (ε") ทำให้ทราบเกี่ยวกับความสามารถในการเป็นฉนวนไฟฟ้า (electrical insulating ability) ของวัตถุ ซึ่งวัตถุที่เป็นอาหารเป็นฉนวนที่ไม่ดี ดังนั้นวัตถุที่เป็นอาหารจึงมักจะดูดซับพลังงานส่วนใหญ่ไว้เมื่อสัมผัสกับคลื่นความถี่วิทยุและส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่ง dipole จะหมุนตามสนามไฟฟ้าโดยอิสระและมีพลังงานถูกถ่ายเทไปยังสิ่งแวดล้อมน้อยมาก เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะยากขึ้น ทำให้มีการสูญเสียพลังงานโดยรอบๆ มากขึ้นทำให้วัตถุมีการดูดซับพลังงานจะน้อยมาก การดูดซับพลังงานจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อเพิ่มคลื่นถึงจุดหนึ่ง แต่ถ้าเพิ่มความถี่ไปเรื่อยๆ ถึงระดับหนึ่ง dipole จะไม่สามารถหมุนไปมาตามการสลับขั้วของสนามไฟฟ้าที่ความถี่สูงมากนั้นได้ การดูดซับจึงเท่ากับศูนย์ ส่วนค่า loss tangent (tanδ) แสดงถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น และค่า loss tangent (tan δ) สามารถใช้ประมาณความยาวคลื่นและความลึกในการทะลุทะลวงภายในวัตถุได้ ความยาวคลื่นภายในวัตถุจะลดลงหากวัตถุมีค่า dielectric loss factor (ε") และความถี่เพิ่มมากขึ้น หากค่า dielectric constant (ε') และค่า loss tangent (tan δ) ของวัตถุมีค่ามากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานจากคลื่นความถี่วิทยุและปริมาณความร้อนเกิดขึ้นมากขึ้นตาม แต่ถ้าค่า dielectric constant (ε') และค่า loss tangent (tan δ) มีค่าน้อย คลื่นความถี่วิทยุจะทะลุผ่านวัตถุไดอิเล็กตริกโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น ดังนั้น ผงสมุนไพรพริกไทยที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที จะตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุทุกอุณหภูมิได้มาก จึงทำให้เชื้อราที่ปนเปื้อนนั้นถูกทำลายได้ดีที่สุด ทำให้มีอัตราการลดลงของเชื้อราสูง ส่วนผงสมุนไพรขมิ้นที่ความชื้นเริ่มต้นพบว่า มีการลดลงของเชื้อราจึงต่ำที่สุด โดยพบว่าเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 65 ºC เชื้อราที่ปนเปื้อนมีการลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และค่อยๆ ลดลงที่อุณหภูมิ 75 และ 85 ºC ทั้งนี้เนื่องจากผงสมุนไพรขมิ้นมีค่า dielectric constant

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ε') ค่า dielectric loss factor (ε'') และค่า loss tangent (tan δ) ต่ำ ความสามารถในการกักเก็บพลังงาน การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ระดับการทะลุทะลวงและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า จึงทำให้เชื้อราค่อยๆ ถูกทำลายเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ผงสมุนไพรพริกไทยที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีการลดลงของเชื้อราโดยรวมมากตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 65 ºC

ในการทดลองใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดเชื้อราในผงสมุนไพรนั้นมีแนวคิดสอดคล้องกับ Ikediala et al.(2000a) รายงานว่า การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุเป็นการใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้นเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ และการทำปลอดเชื้ออาหารในทางการค้าเพื่อรักษาคุณภาพอาหาร และนอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Janhang et al. (2005) ได้ใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมเชื้อราในเมล็ดพันธุ์ข้าว พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 75 ºC เป็นเวลา 3 นาที สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อรา *Trichoconis padwickii* เหลือ 18 % และเมล็ดพันธุ์ข้าวนั้นยังมีความแข็งแรงอยู่ พัทยาและสุชาดา (2549) ได้ใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ในเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความชื้น 10.4 % พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 75 ºC เป็นเวลา 3 นาที ทำให้การปนเปื้อนของเชื้อรา *Trichoconis padwickii, Fusarium* sp., *Bipolaris oryzae* และ *Curvularia lunata* ลดลงเหลือ 41 % เมล็ดพันธุ์ยังคงความมีชีวิตที่ 61 % จาก 80 % ปรัชญาและคณะ (2549) พบว่าการลดลงของเชื้อรา *Fusarium semitectum* ในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด โดยการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุนั้นมีความสัมพันธ์กันระหว่างระดับของอุณหภูมิที่ให้แก่เมล็ดและค่าความชื้นเริ่มต้น ในเมล็ดที่ระดับความชื้นสูงจะตอบสนองต่อคลื่นความถี่วิทยุได้ดี และที่ระดับอุณหภูมิสูงมีผลทำให้การติดเชื้อลดลง

นอกจากนี้ Akaranuchat et al. (2007) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวบาร์เลย์ คือ 55 ºC เป็นเวลา 5 นาที สามารถกำจัดเชื้อรา *Alternaria* sp., *Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp. ได้ทั้งหมด และเชื้อรา *A. flavus* ลดลงเหลือ 16.7 % ความงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลงจาก 91 % เหลือ 78 % อย่างไรก็ตาม คลื่นความถี่วิทยุเป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุมเชื้อราที่ปนเปื้อนในเมล็ดพันธุ์ข้าวบาร์เล่ย์ นอกจากนี้ Vassanacharoen et al. (2004) ทำการศึกษาการควบคุมเชื้อรา *Macrophomina phaseolina* ในเมล็ดพันธุ์งา พันธุ์ MK60 (white seed) MG 18 (black seed) และ AU1 (red seed) ความชื้น 5 และ 10 % ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 70 ºC เป็นเวลา 3 นาที ที่ความชื้นเมล็ด 10 % การปนเปื้อนของเชื้อรา *M. phaseolina* ลดลงเหลือ 51 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.7 การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม ($x10^5$CFU/ml) ในผงสมุนไพรหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

อุณหภูมิ	การปนเปื้อนเชื้อราโดยรวม					
	ขมิ้น		พริก		พริกไทย	
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น
control	16.89a	22.30a	2.73a	3.16a	39.64a	54.05a
65	13.58b	3.11b	1.45a	2.06ab	7.21b	1.66b
75	8.78c	2.31b	1.41a	1.92b	4.28b	1.43b
85	2.53d	2.13b	2.06a	1.21b	4.05b	1.43b
F-test	**	**	ns	*	**	**
LSD	3.1458	3.2600	1.3791	1.156	4.5280	7.3453
% CV	19.55	28.37	46.88	36.00	21.31	32.57

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

* = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

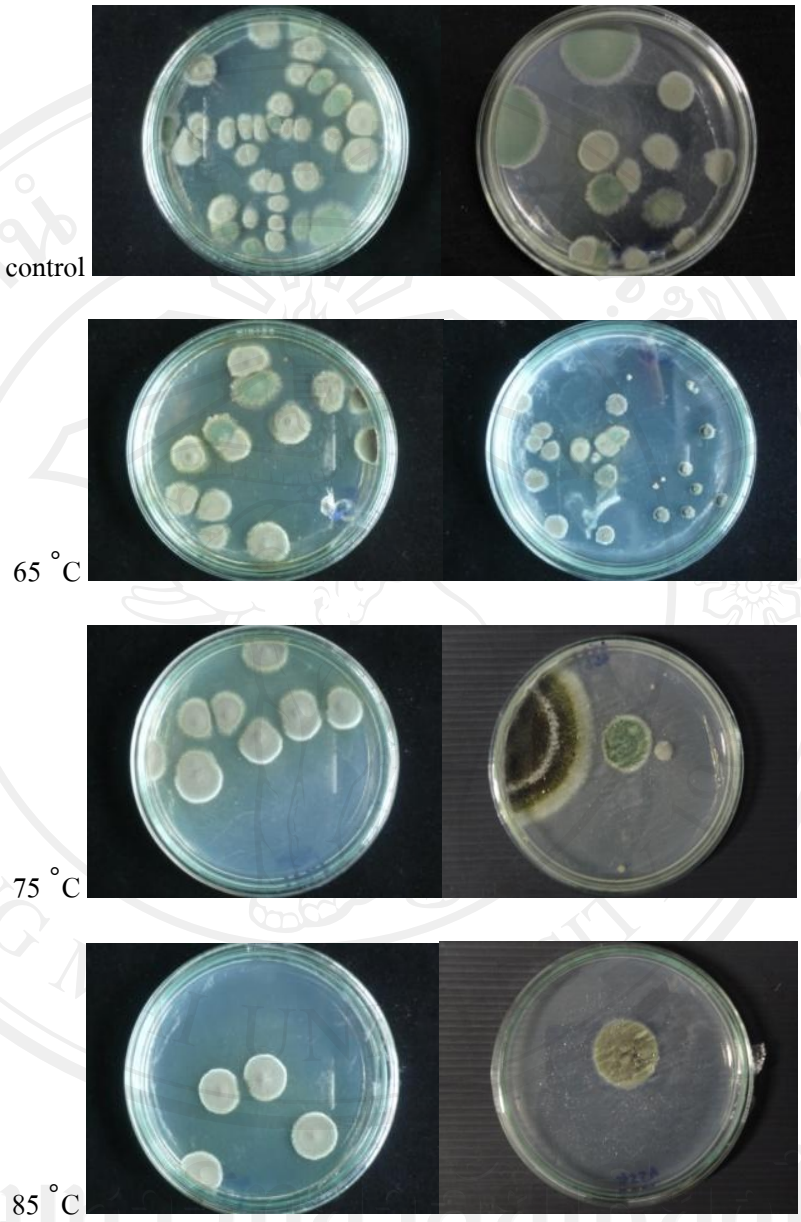
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตัวอักษรเดียวกันหลังตัวเลขในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)

* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

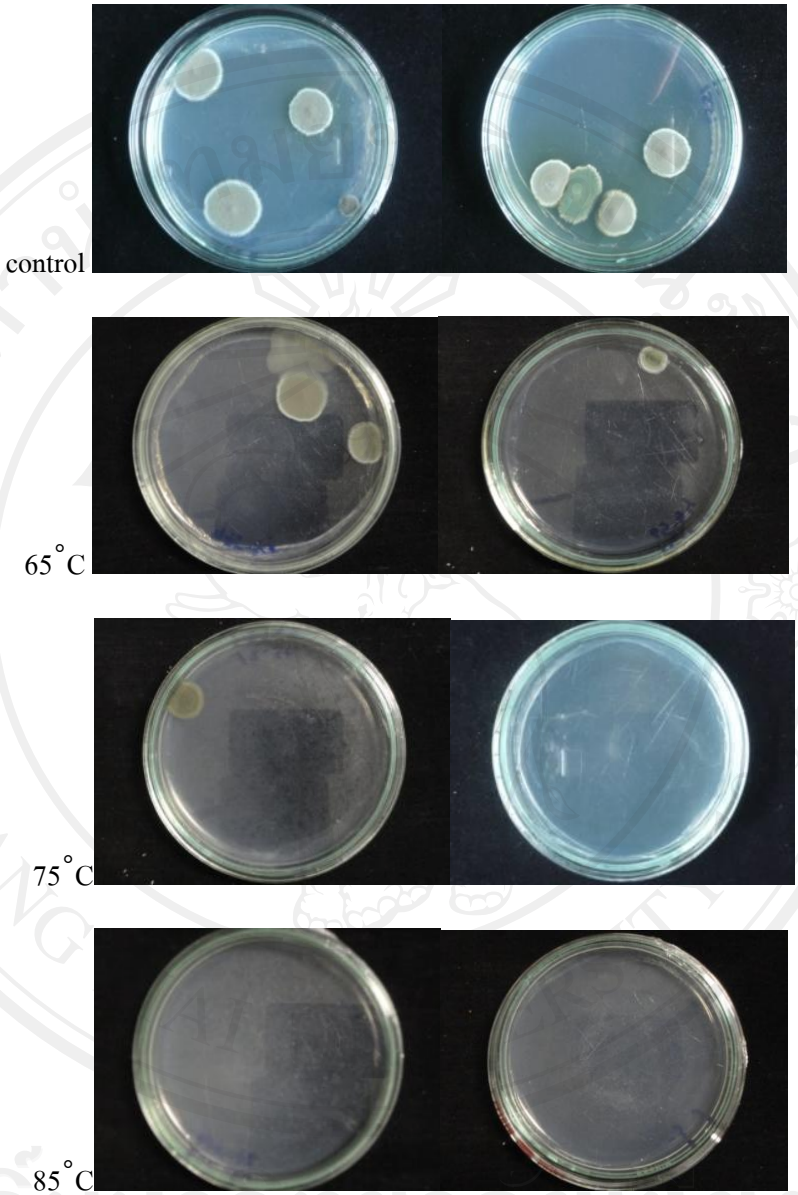


(ก.) (ข.)

ภาพ 4.5 การปนเปื้อนของเชื้อราโดยรวมหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในผงสมุนไพรขมิ้น

(ก.) ความชื้นเริ่มต้น และ (ข.) ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที

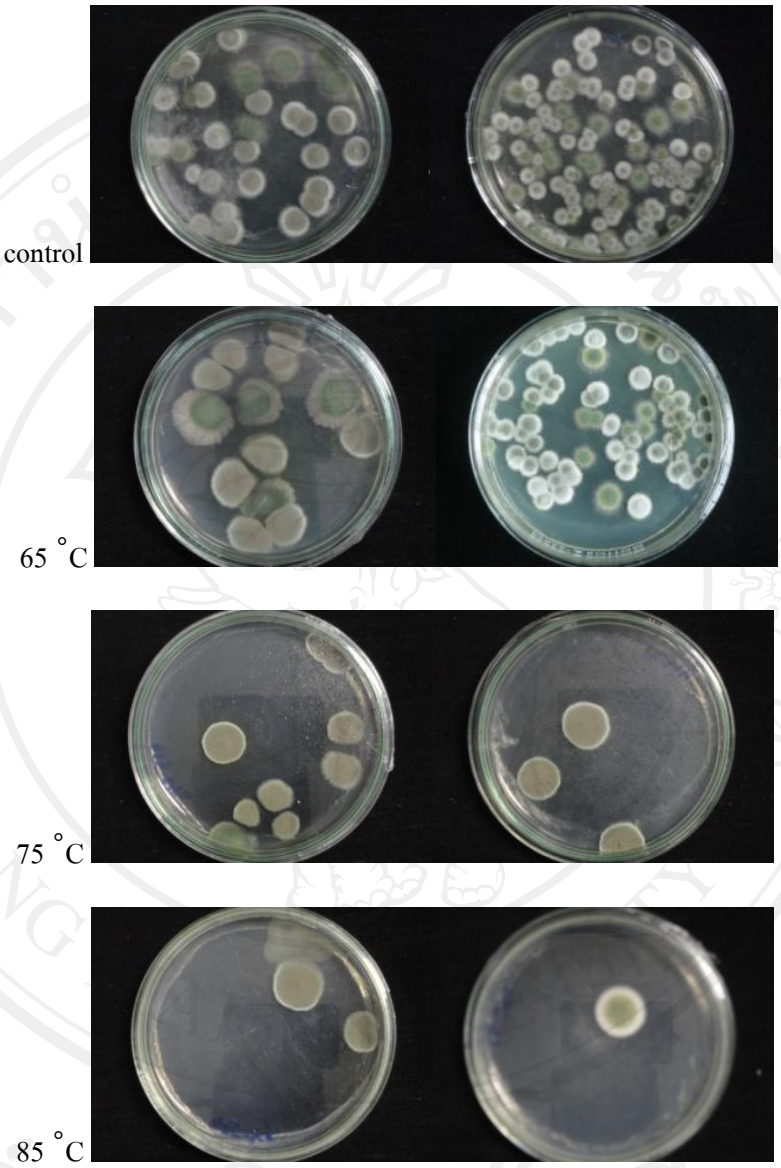
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.6 การปนเปื้อนของเชื้อราโดยรวมหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในผงสมุนไพรพริก

(ก.) ความชื้นเริ่มต้น และ (ข.) ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก.) (ข.)

ภาพ 4.7 การปนเปื้อนของเชื้อราโดยรวมหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุในผงสมุนไพรพริกไทย

(ก.) ความชื้นเริ่มต้น และ (ข.) ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.4 การตรวจสอบคุณภาพสี

จากการตรวจสอบค่าความสว่างโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab Colorimeter ในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ความชื้นเริ่มต้นพบว่ามีค่าความสว่าง เท่ากับ 51.85 41.41 และ 66.88 ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าความสว่างที่ความชื้นเริ่มต้นของผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย มีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 ºC ค่าความสว่างไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น และที่อุณหภูมิ 65 และ 85 ºC มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 52.34 และ 52.33 ตามลำดับ ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC ทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 44.33 44.29 และ 44.67 ตามลำดับ ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 ºC นั้นค่าความสว่างไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น และที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC พบว่าค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และค่าความสว่างสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 65 ºC เท่ากับ 67.62 (ตาราง 4.8)

จากการตรวจสอบค่าความสว่างในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีค่าความสว่าง เท่ากับ 51.89 40.90 และ 65.12 ตามลำดับนั้น หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าความสว่างของผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทยมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 85 ºC ค่าความสว่างไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 52.55 และ 52.53 ตามลำดับ ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 ºC ค่าความสว่างไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่าค่าความสว่างลดลง และที่อุณหภูมิ 65 ºC ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น เท่ากับ 42.21 ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 75 ºC ค่าความสว่างไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที และที่อุณหภูมิ 65 และ 85 ºC พบว่าค่าความสว่างลดลง (ตาราง 4.8)

จากการตรวจสอบค่าสีแดงในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ความชื้นเริ่มต้นพบว่ามีค่าสีแดง เท่ากับ 28.11 17.56 และ 1.96 ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าสีแดงของผงสมุนไพรขมิ้นไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนผงสมุนไพรพริกและพริกไทยมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรขมิ้นพบว่าเมื่อให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC ค่าสีแดงไม่ต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ค่าสีแดงลดลง และที่อุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

85 ºC มีค่าสีแดงต่ำที่สุด เท่ากับ 14.63 ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 ºC ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ 75 ºC ค่าสีแดงลดลง และที่อุณหภูมิ 85 ºC พบว่าค่าสีแดงเพิ่มขึ้นมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.96 (ตาราง 4.9)

กอบพัชรกุลและคณะ (2550) พบว่าในการทำแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปเร่งให้น้ำที่อยู่บริเวณผิวผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้ตัวทำละลายที่ผิวมีความเข้มข้นมากขึ้น ยาตราและคณะ (2553) พบว่าอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อเวลาการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นขิงแห้งมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น กอดขวัญและคณะ(2554) พบว่า เมื่ออุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงขึ้นทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของเผือกมีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการอบแห้งกล้วยและเผือกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งส่วนใหญ่โทนสีจะออกคล้ำเนื่องจากการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง แต่คุณภาพสีจะดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความเร็วที่ใช้สูงขึ้น เนื่องจากเวลาในการอบแห้งสั้นลงทำให้วัสดุสัมผัสความร้อนสูงที่เวลาสั้นลง นอกจากนี้ Lewicki and Jakubczyk (2004) พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้ง apple เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสีแดงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Maillard reaction) ซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ขณะที่พนมและคณะ(2550) รายงานว่าศึกษาการผลิตกระเจี๊ยบผงด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า 150-170 ºC พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสีแดงลดลง เนื่องจาก anthocyanin ซึ่งมีลักษณะเป็นสีแดง-ส้ม เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน

จากการตรวจสอบในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีค่าสีแดง เท่ากับ 26.44 14.50 และ 2.05 ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าการค่าสีแดงของผงสมุนไพรขมิ้นไม่มีความแตกต่างกัน ในผงสมุนไพรพริกและพริกไทยพบว่าค่าสีแดงมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ทำให้ค่าสีแดงลดลง และที่อุณหภูมิ 85 ºC ค่าสีแดงต่ำที่สุด เท่ากับ 14.63 ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 ºC ค่าสีแดงเพิ่มขึ้นไม่ต่างจากที่อุณหภูมิ 85 ºC และที่อุณหภูมิ 85 ºC ค่าสีแดงไม่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 75 ºC (ตาราง 4.9)

จากการตรวจสอบค่าสีเหลืองในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ความชื้นเริ่มต้นพบว่ามีค่าสีเหลือง เท่ากับ 55.03 30.75 และ 16.56 ตามลำดับนั้น หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าสีเหลืองของผงสมุนไพรขมิ้นไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนผงสมุนไพรพริกและพริกไทยมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรพริก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 ºC ค่าสีเหลืองไม่ต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ 75 และ 85 ºC ค่าสีเหลืองลดลงแต่ไม่แตกต่างกัน ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 และ 75 ºC ค่าสีเหลืองลดลงโดยที่อุณหภูมิ 65 ºC มีค่าสีเหลืองต่ำที่สุดเท่ากับ 15.11 และที่อุณหภูมิ 85 ºC ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ตาราง 4.10)

พรรณจิราและคณะ (2545) พบว่าการอบแห้งน้ำผักผลไม้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสีเหลืองลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในน้ำผักผลไม้ถูกออกซิไดส์โดยความร้อนในระหว่างการอบแห้ง วิทธวัชและคณะ (2553) พบว่าการอบแห้งใบหม่อนที่อุณหภูมิ 40 45 และ 50 ºC โดยใช้อากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลางอบแห้งนั้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าสีเหลืองลดลง

จากการตรวจสอบค่าสีเหลืองในผงสมุนไพรขมิ้น พริก และพริกไทย ที่ทำการเพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที มีค่าสีเหลือง เท่ากับ 54.73 27.80 และ 17.85 ตามลำดับ หลังการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC เป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าสีเหลืองของผงสมุนไพรขมิ้นไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนผงสมุนไพรพริกและพริกไทยมีความแตกต่างกัน ($P<0.01$) ในผงสมุนไพรพริกพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 ºC ค่าสีเหลืองไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ความชื้นเมื่อเพิ่มด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 75 และ 85 ºC ค่าสีเหลืองลดลงแต่ไม่ต่างกัน ในผงสมุนไพรพริกไทยพบว่าการให้คลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิ 65 75 และ 85 ºC ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 65 ºC นั้นไม่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 85 ºC และที่อุณหภูมิ 75 ºC ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิ 85 ºC (ตาราง 4.10)

ผดุงศักดิ์ และคณะ (2547) รายงานว่าการอบแห้งโดยอาศัยคุณสมบัติของการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นภายในวัตถุไดอิเล็กตริก ซึ่งหมายถึงวัตถุกึ่งฉนวนที่มีโครงสร้างพื้นฐานทางจุลภาค มีลักษณะเป็นขั้วทางไฟฟ้า (dipoles) ซึ่งอันตรกิริยา (interaction) ระหว่าง dipoles และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผลทำให้เกิดความร้อนภายในขึ้น (internal heat generation) ดังนั้นวัตถุจะกระจายความร้อนจากภายในออกสู่ผิวนอก ซึ่งหลักการนี้จะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่เสียหายหรือต่างไปจากเดิมมากนัก เนื่องจากวิธีการอบแห้งระบบนี้จะทำให้เกิดการระเหยของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีการกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอ สามารถลดการเกิดรอยร้าวและรอยไหม้ในผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.8 ค่าความสว่างของผงสมุนไพรหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

อุณหภูมิ (ºC)	L*					
	ขมิ้น		พริก		พริกไทย	
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น
control	51.85b	51.89b	41.41b	41.72b	66.92bc	65.92a
65	52.42a	52.53a	44.29a	42.21b	67.62a	65.115c
75	51.95b	52.53a	44.33a	41.62b	66.88c	65.77a
85	52.33a	52.04b	44.67a	40.90c	66.98b	65.44b
F-test	**	**	**	**	**	**
LSD	0.2241	0.1723	0.4203	0.2521	0.1001	0.1778
% CV	0.28	0.21	0.62	0.39	0.10	0.18

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตัวอักษรเดียวกันหลังตัวเลขในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)

* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.9 ค่าสีแดงของผงสมุนไพรหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

อุณหภูมิ (ºC)	a*					
	ขมิ้น		พริก		พริกไทย	
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น
control	28.28a	26.89a	17.56a	17.56a	1.89b	1.93c
65	28.11b	26.44c	15.05b	15.05b	1.75c	2.05a
75	28.19ab	26.69b	15.03b	15.03b	1.88b	2.00b
85	28.20ab	26.70b	14.63c	14.63c	1.96a	2.01ab
F-test	ns	**	**	**	**	**
LSD	0.1258	0.092	0.1014	0.0868	0.0318	0.0493
% CV	0.29	0.22	0.42	0.39	1.11	1.6

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตัวอักษรเดียวกันหลังตัวเลขในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)

* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.10 ค่าสีเหลืองของผงสมุนไพรหลังการให้คลื่นความถี่วิทยุ

อุณหภูมิ (ºC)	b*					
	ขมิ้น		พริก		พริกไทย	
	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น	ตัวอย่างแห้ง	ตัวอย่างชื้น
control	53.99ab	54.34a	30.75a	26.72b	16.35b	17.07c
65	53.50b	54.73a	29.98a	26.75b	15.11d	17.85a
75	55.03a	54.40a	28.94b	27.52a	15.93c	17.54b
85	54.21ab	53.95a	28.15b	27.80a	16.56a	17.73ab
F-test	ns	ns	**	**	**	**
LSD	1.3079	-	0.8776	0.5574	0.1531	0.2570
% CV	1.57	1.29	1.93	1.33	0.62	0.95

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำ

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตัวอักษรเดียวกันหลังตัวเลขในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

* ตัวอย่างแห้ง คือ ผงสมุนไพรที่ความชื้นเริ่มต้น (ขมิ้น 9.66 % พริก 5.64 % และพริกไทย 8.60 %)

* ตัวอย่างชื้น คือ ผงสมุนไพรที่เพิ่มความชื้นด้วยไอน้ำจาก water bath นาน 15 นาที (ขมิ้น 16.55 % พริก 11.45 % และพริกไทย 12.57 %)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved