บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การสกัดสารสีธรรมชาติจากพืชและการทำให้เข้มข้น

นำบีทรูทมาสกัดโดยการบดและคั้นน้ำ จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปทำให้เข้มข้นนำสารสกัดเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของสารสกัดสีจากบีทรูท

ตัวอย่าง	ความหนืด (เซนติพอยส์)	ค่าสี		
		L*	a*	b*^{ns}
สารสกัดบีทรูท ก่อนการทำให้เข้มข้น	1.73^{b}±0.08	13.54^{b}±0.06	11.48^{a}±0.09	-6.71±0.22
สารสกัดบีทรูท หลังการทำให้เข้มข้น	7.02^{a}±0.28	14.42^{a}±0.07	9.75^{b}±1.07	-6.74±0.60

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของสารสกัดสีจากบีทรูท พบว่าความหนืดของสารสกัดสีจากบีทรูทหลังการทำให้เข้มข้นมีค่ามากกว่าก่อนทำให้เข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 7.02±0.28 และ 1.73±0.08 เซนติพอยส์ ตามลำดับ ส่วนค่าสีของสารสกัดบีทรูทก่อนและหลังการทำให้เข้มข้นนั้นพบว่า สารสกัดบีทรูทหลังการทำให้เข้มข้นมีค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากเกิดการแยกของของแข็งที่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำออกไปกับผลึกน้ำแข็ง จึงทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าสี a* และ b* ที่มีค่าลดลงจากก่อน

การทำให้เข้มข้นก็อาจเนื่องมาจากของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำเช่น กากของบีทรูทได้ถูกแยกออกไปกับผลึกน้ำแข็ง จึงมีผลทำให้ค่าสี a* และ b* มีค่าลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของสารสกัดสีจากบีทรูท

ตัวอย่าง	ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (องศาบริกซ์)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ค่าความเป็น กรด ด่าง
สารสกัดบีทรูท ก่อนการทำให้เข้มข้น	$7.03^{b}\pm0.05$	$7.42^{b}\pm0.18$	$5.32^{b}\pm0.05$
สารสกัดบีทรูท หลังการทำให้เข้มข้น	$40.03^{a}\pm0.08$	$40.06^{a}\pm0.03$	$5.93^{a}\pm0.03$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติทางเคมีของสารสกัดสีจากบีทรูทพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าความเป็นกรด ด่างของสารสกัดสีจากบีทรูทหลังการทำให้เข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสารสกัดบีทรูทก่อนการทำให้เข้มข้น โดยปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำมีค่าเท่ากับ 40.03 ± 0.08 องศาบริกซ์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 40.06 ± 0.03 และความเป็นกรด ด่างมีค่าเท่ากับ 5.93 ± 0.03 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นมานั้นก็เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารสกัดบีทรูทที่มากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสีจากบีทรูท

ตัวอย่าง	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/กรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง)
สารสกัดบีทรูท ก่อนการทำให้เข้มข้น	$0.0877^{c}\pm0.0085$	$0.0061^{b}\pm0.0006$
สารสกัดบีทรูท หลังการทำให้เข้มข้น	$0.0126^{b}\pm 0.0004$	$0.0050^{a}\pm0.0002$
วิตามินซี	$0.061^{a}\pm 0.001$	---

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดบีทรูทก่อนและหลังการทำให้เข้มข้น พบว่ามีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.0061 ± 0.0006 และ 0.0050 ± 0.0002 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ตามลำดับ โดยสารสกัดบีทรูทหลังการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งมีค่า IC_{50} ต่ำกว่าสารสกัดบีทรูทก่อนทำให้เข้มข้น ซึ่งหมายถึงสารสกัดบีทรูทหลังการทำให้เข้มข้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าก่อนการทำให้เข้มข้น อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของปริมาณสารที่สามารถต้านอนุมูลอิสระมีมากขึ้นเมื่อเทียบในปริมาตรที่เท่ากัน อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็งนั้นสามารถรักษาสารที่มีคุณประโยชน์และสีของสารสกัดบีทรูทไว้ได้ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดบีทรูทกับวิตามินซีพบว่า สารสกัดบีทรูทหลังการทำให้เข้มข้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าวิตามินซี เนื่องจากวิตามินซีมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.061 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Cai *et al*. (2005) ที่พบว่าค่า EC_{50}(effective concentration) ของบีทรูทผงและวิตามินซีมีค่าเท่ากับ 4.88 และ 13.93 μM ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าบีทรูทเป็นแหล่งของสารสำคัญที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าวิตามินซี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลึกน้ำผึ้งโดยการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ

นำสารสีสกัดจากธรรมชาติมาผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินโดยทำการแปรระดับความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน 3 ระดับคือ ร้อยละ 5 10 และ15 จากนั้นนำไปผสมกับผลึกน้ำผึ้ง นำของผสมที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ เพื่อหาระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง โดยแปรระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 3 ระดับคือ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส โดยควบคุมเวลาในการอบแห้งเป็น 72 ชั่วโมง จากนั้นนำแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดังตารางที่ 4.4 ถึง 4.12

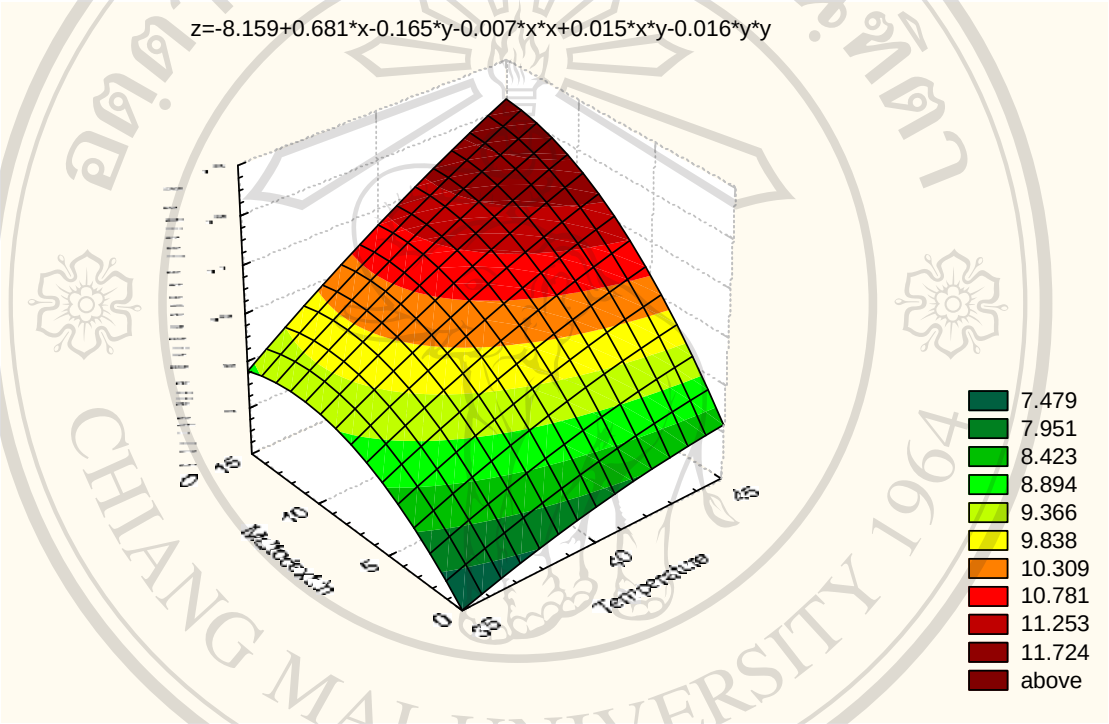
ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/กรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง)
35	0	$361.76^{a}\pm5.91$	$7.36^{a}\pm0.54$
	5	$419.41^{b}\pm11.91$	$8.60^{b}\pm0.63$
	10	$470.34^{f}\pm2.51$	$8.56^{b}\pm0.39$
	15	$510.46^{h}\pm7.99$	$9.04^{bc}\pm0.39$
40	0	$375.90^{a}\pm13.13$	$8.40^{ab}\pm0.34$
	5	$437.97^{cd}\pm2.96$	$9.57^{bcd}\pm0.19$
	10	$466.35^{ef}\pm2.42$	$10.54^{d}\pm1.02$
	15	$488.11^{g}\pm11.67$	$10.60^{d}\pm0.31$
45	0	$429.35^{bc}\pm10.96$	$8.69^{b}\pm0.50$
	5	$450.42^{de}\pm2.84$	$10.08^{cd}\pm0.36$
	10	$567.37^{i}\pm3.38$	$12.05^{e}\pm1.42$
	15	$576.17^{i}\pm21.69$	$12.02^{e}\pm0.82$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.4 พบว่าตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดคือ ตัวอย่างควบคุมที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเนื่องจากมีค่า IC_{50} ต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 7.36±0.54 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ส่วนแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 45 องศาเซลเซียส จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดเนื่องจากมีค่า IC_{50} สูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 12.05±1.42 และ 12.02±0.82 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่า IC_{50}ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.1 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าIC_{50}ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศพบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นและใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า IC_{50} เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งลดลง และจากการวิเคราะห์ค่า Pearson's correlation พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.629 และ 0.607 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่า IC_{50} และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินกับค่า IC_{50} ตามลำดับ (ตาราง จ-4) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่า IC_{50} โดยแสดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์ในเชิงบวก ทั้งนี้เนื่องจากสารบีตาเลนที่ทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระมีความไวต่อความร้อนซึ่งจะเกิดการเสียสภาพได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (Herbach *et al*., 2006) ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นก็จะส่งผลทำให้สารบีตาเลนเกิดการเสียสภาพและส่งผลทำให้ค่า IC_{50} เพิ่มขึ้น (ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง) โดยอัตราการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (Herbach *et al*., 2006) ซึ่งจากรายงานการวิจัยของ Kirca และCemeroglu (2003) ได้ศึกษาถึงการเสื่อมสลายของสารแอนโทไซยานินในน้ำส้ม (blood orange juice) ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าการเสื่อมสลายของสารแอนโทไซยานินในน้ำส้มจัดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยพบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สารแอนโทไซยานินที่อยู่ในน้ำส้มจะเกิดการเสื่อมสลายมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าสารต้านอนุมูลอิสระจะเกิดการเสื่อมสลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อีกทั้งจากรายงานการวิจัยของ Escribano และ Pedreno (2001) ได้ศึกษาผลของพีเอชและอุณหภูมิต่อความคงตัวของสารบีตานินจากบีทรูท โดยเลือกศึกษาที่พีเอช 3.5 และ 8.5 ที่ระดับอุณหภูมิ 25 50 และ 75 องศาเซลเซียส พบว่าความคงตัวของสารบีตานินในบีทรูทจะลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้น โดยอัตราการเสื่อมสลายจัดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและสารบีตานินจากบีทรูทจะคงตัวในสภาวะความเป็นกรดมากกว่าความเป็นด่าง

นอกจากนั้นแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณมากขึ้นจะมีค่า IC_{50} เพิ่มขึ้น (ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง) เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารสกัดบีทรูทที่นำมาผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินปริมาณมากขึ้นในปริมาณตัวอย่างที่เท่ากัน จึงเป็นผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง จะเห็นได้อย่างชัดเจนจากค่า IC_{50} เมื่อเทียบกับน้ำหนักฐานแห้งของสารสกัดบีทรูท โดยพบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 35 องศาเซลเซียส จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.36 ± 0.54 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ดังตารางที่ 4.4 ทั้งนี้เนื่องจากเป็นตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตริน จึงทำให้ความเข้มข้นของสารสกัดบีทรูทมีมากที่สุด จึงส่งผลทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด อีกทั้งยังใช้อุณหภูมิการอบแห้งต่ำที่สุด จึงช่วยรักษาความคงตัวของสารสีจากบีทรูทซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

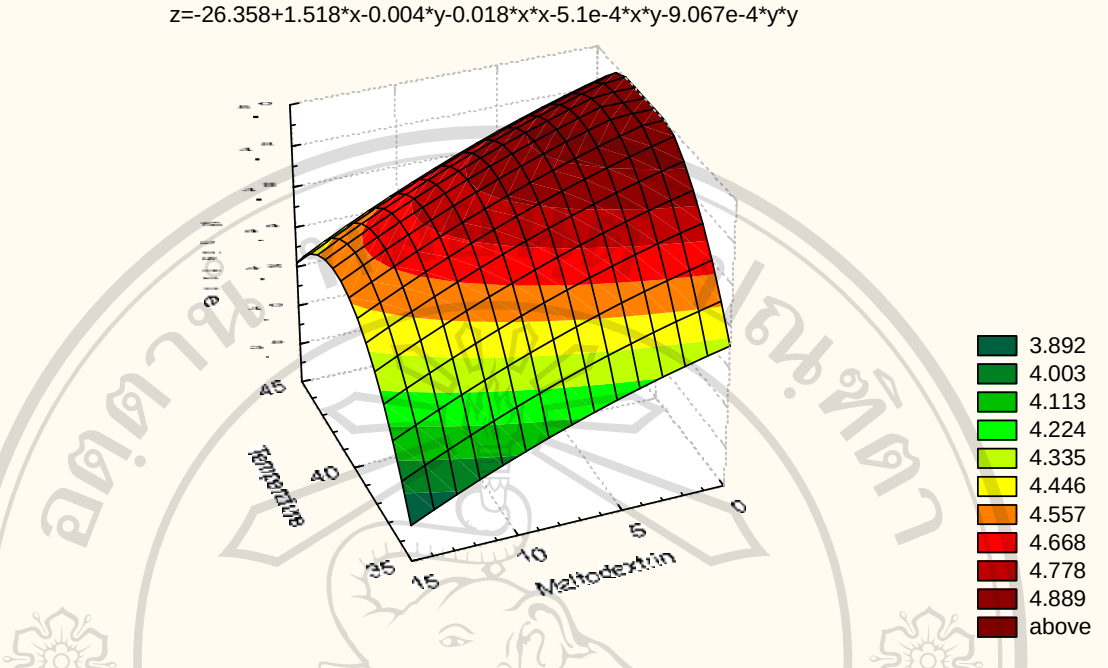
ตารางที่ 4.5 ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก่อนและหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ความชื้นก่อนการอบแห้ง^{ns} (ร้อยละ)	ความชื้นหลังการอบแห้ง^{ns} (ร้อยละ)
35	0	13.017±0.496	4.312±0.370
	5	13.236±0.518	4.346±0.225
	10	13.041±0.218	3.857±0.181
	15	12.995±0.262	3.755±0.176
40	0	13.258±0.750	4.737±0.028
	5	13.006±0.383	4.631±0.118
	10	13.159±0.570	4.794±0.452
	15	13.282±0.461	4.602±0.145
45	0	13.331±0.443	4.291±0.273
	5	13.420±1.075	4.742±0.159
	10	12.456±0.346	4.505±0.550
	15	13.463±0.719	4.100±0.751

หมายเหตุ : 1) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งและมอลโตเดกซ์ตรินต่อความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง พบว่าอุณหภูมิการอบแห้งและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งทั้งก่อนและหลังอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.2 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.2 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ พบว่าเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่าลดลง เนื่องมาจากมอลโตเดกซ์ตรินจะดูดซับความชื้นของสารสกัดสีเอาไว้ เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจึงส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งลดลง อย่างไรก็ตามการลดลงของปริมาณความชื้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation (ตาราง จ-5) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้น และมอลโตเดกซ์ตรินกับความชื้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.320 และ -0.274 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

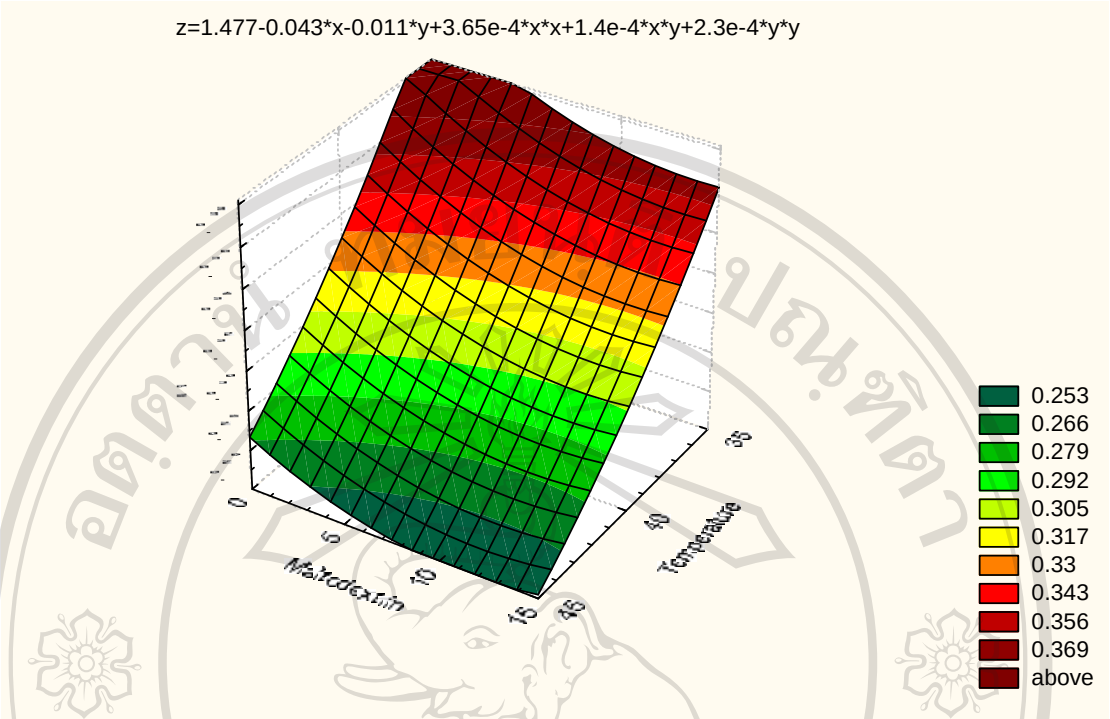
ตารางที่ 4.6 ค่า water activity ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก่อนและหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	Water activity ก่อนอบ	Water activity หลังอบ
35	0	$0.707^{b}\pm0.002$	$0.388^{a}\pm0.002$
	5	$0.713^{a}\pm0.001$	$0.382^{a}\pm0.006$
	10	$0.705^{bcd}\pm0.001$	$0.364^{b}\pm0.003$
	15	$0.702^{cd}\pm0.000$	$0.363^{b}\pm0.004$
40	0	$0.702^{cd}\pm0.003$	$0.316^{c}\pm0.005$
	5	$0.694^{e}\pm0.002$	$0.304^{d}\pm0.004$
	10	$0.696^{e}\pm0.001$	$0.295^{e}\pm0.006$
	15	$0.701^{d}\pm0.003$	$0.292^{e}\pm0.000$
45	0	$0.705^{bcd}\pm0.004$	$0.245^{f}\pm0.002$
	5	$0.703^{bcd}\pm0.002$	$0.239^{fg}\pm0.002$
	10	$0.706^{bc}\pm0.001$	$0.235^{g}\pm0.003$
	15	$0.705^{bcd}\pm0.002$	$0.242^{f}\pm0.005$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก่อนและหลังการอบแห้งพบว่า ตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส ค่า a_w จะอยู่ในช่วง 0.363-0.388, 0.292-0.316 และ 0.235-0.245 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะลดลง ค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศทั้ง 3 ระดับอุณหภูมินั้นเป็นช่วงที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาเนื่องจากมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (Fennema, 2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.3 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.3 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ พบว่าเมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า a_w ลดลง การลดลงของค่า a_w เนื่องมาจากคุณสมบัติของมอลโตเดกซ์ตรินที่สามารถดูดซับความชื้นจากสารสกัดสีเอาไว้ ดังนั้นเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งลดลง จึงส่งผลทำให้ค่า a_w ลดลง แต่อย่างไรก็ตามการลดลงของค่า a_w เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นนั้นจะไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ต่อค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งโดยมีค่า Pearson's correlation เท่ากับ -0.126 (ตาราง จ-6) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ

ส่วนผลของอุณหภูมิต่อค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า a_w ต่ำลง โดยเมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation จะมีค่าเท่ากับ -0.985 (ตาราง จ-6) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่า a_w เนื่องมาจากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงมากขึ้นจะทำให้น้ำเกิดการระเหยได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบในระยะเวลาการอบแห้งที่เท่ากัน จึงส่งผลทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิสูง มีค่า a_w ที่ต่ำกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อระยะเวลาการอบแห้งเท่ากัน

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

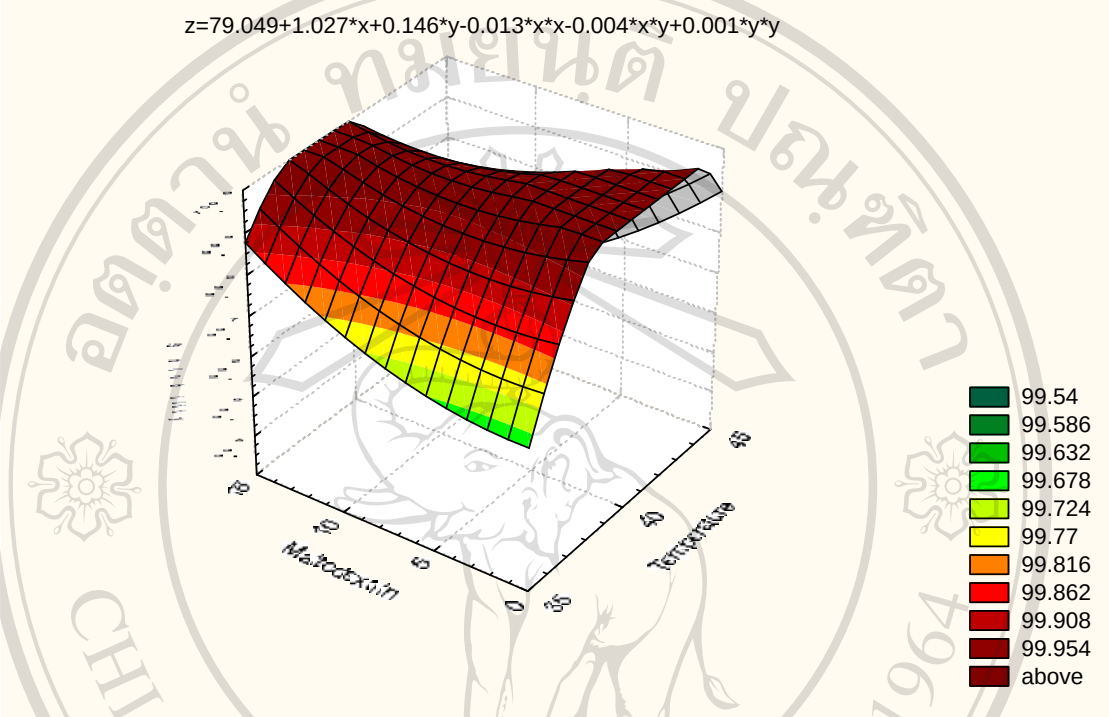
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ความสามารถในการละลาย^{ns} (ร้อยละ)
35	0	99.94±0.18
	5	99.79±0.45
	10	99.53±0.27
	15	99.98±0.14
40	0	99.76±0.42
	5	99.98±0.03
	10	100.00±0.00
	15	100.00±0.00
45	0	99.50±0.90
	5	99.62±0.73
	10	99.77±0.40
	15	99.39±0.74

หมายเหตุ : 1) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.7 พบว่าความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส จะอยู่ในช่วงร้อยละ 100.00-99.39 ซึ่งเป็นค่าการละลายที่สูงมาก เนื่องมาจากองค์ประกอบของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งซึ่งประกอบด้วยผลึกน้ำผึ้ง มอลโตเดกซ์ตรินและสารสกัดจากบีทรูทสามารถละลายในน้ำได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงส่งผลทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งสามารถละลายในน้ำได้ทั้งหมดจึงทำให้มีค่าการละลายที่สูง ซึ่งจากรายงานการวิจัยของ พีรพล (2551) พบว่าความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผงโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยแปรระดับมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณร้อยละ 30

40 และ 50 พบว่า ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผงมีค่าประมาณร้อยละ 95 ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้



รูปที่ 4.4 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.4 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศพบว่าเมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินสูงขึ้น ความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากผลของมอลโตเดกซ์ตรินที่เติมลงไปในผลึกน้ำผึ้ง เมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณมาก การเกาะตัวกันของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่าลดลง เนื่องจากสมบัติของมอลโตเดกซ์ตรินที่เป็นสารต้านการเกาะติด (Madene *et al.*, 2005) เมื่ออนุภาคของอาหารผงไม่เกาะติดกันจึงทำให้การดูดซับน้ำ (wettability) ของอนุภาคผงเกิดได้อย่างทั่วถึง รวมถึงเกิดการกระจายตัวในน้ำ (dispersibility) ได้ดี จึงส่งผลทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-7 จะพบว่ามอลโตเดกซ์ตรินจะไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 0.035

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเมื่อดูผลของอุณหภูมิจะพบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่าสูงมากถึงร้อยละ 100.00 ซึ่งมากกว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของเหลวระหว่างอนุภาคมีน้อยซึ่งจะสังเกตได้จากค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิการอบแห้ง 35 องศาเซลเซียส เมื่อการเกาะตัวกันของผลึกน้ำผึ้งมีน้อย การดูดซับน้ำและการกระจายตัวในน้ำก็เกิดขึ้นได้ดีขึ้น จึงทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งมีความสามารถในการละลายที่สูงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่า Pearson's correlation สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความสามารถในการละลายจะพบว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ -0.225

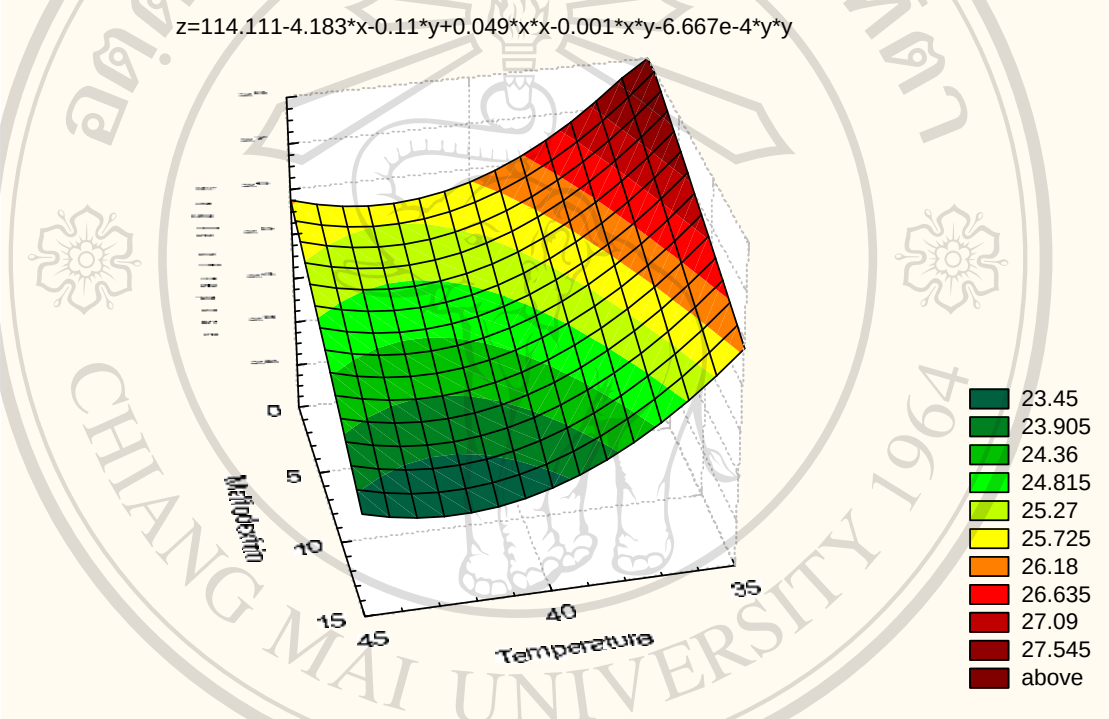
ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ความสามารถในการไหล (องศา)
35	0	$24.40^{bcd}\pm2.37$
	5	$27.30^{a}\pm2.79$
	10	$26.40^{ab}\pm3.75$
	15	$26.10^{abc}\pm2.64$
40	0	$23.80^{cd}\pm3.12$
	5	$25.40^{abcd}\pm1.58$
	10	$24.00^{bcd}\pm1.56$
	15	$23.00^{de}\pm2.67$
45	0	$21.50^{e}\pm1.78$
	5	$24.60^{bcd}\pm1.64$
	10	$24.50^{bcd}\pm1.27$
	15	$23.30^{de}\pm1.83$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.8 พบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินโดยผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะมีความสามารถในการไหลที่ดีกว่าตัวอย่างอื่นๆโดยมีค่ามุมกองเท่ากับ 21.50±1.78 องศา และจะสังเกตเห็นได้ว่ามุมกองของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งทุกๆตัวอย่างจะมีค่าอยู่ในช่วง 21.50-27.30 องศา ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 30 องศา แสดงให้เห็นว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศมีความสามารถในการไหลที่ดี (Geldart *et al*., 2006)



รูปที่ 4.5 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.5 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ พบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส โดยใช้มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณร้อยละ 10 และ 15 นั้นจะส่งผลทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีความสามารถในการไหลที่ดีโดยสังเกตได้จากค่ามุมกองที่มีค่าต่ำ ส่วนที่อุณหภูมิการอบแห้ง 35 องศาเซลเซียสแม้จะใช้มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณสูงสุดคือร้อยละ 15 ความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก็ยังต่ำกว่าการอบที่ระดับอุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียส โดยเมื่อพิจารณาค่า Pearson's

correlation จากตาราง จ-8 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่ามุมกองจะมีค่าเท่ากับ -0.387 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการไหลโดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นค่ามุมกองจะลดลงซึ่งหมายถึงความสามารถในการไหลที่ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-8 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่ามุมกองจะมีค่าเท่ากับ 0.078 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง

นอกจากอุณหภูมิจะมีผลต่อความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ยังพบว่ามีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความสามารถในการไหลเช่น ความชื้น จากผลการทดลองจะพบว่าที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 45 องศาเซลเซียส แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีความสามารถในการไหลที่ดี อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงจะส่งผลต่อความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง เมื่อมีความชื้นในผลึกน้ำผึ้งน้อยก็จะส่งผลทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งไม่เกิดการเกาะตัวกันเนื่องจากปริมาณของเหลวที่อยู่ระหว่างแคปซูลมีน้อย (Barbosa-Canovas *et al*., 2005) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 45 องศาเซลเซียสจะมีค่า a_w ที่ต่ำกว่าที่ระดับ 35 และ 40 องศาเซลเซียส จึงเป็นผลทำให้ความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จึงมีค่าสูง

ตารางที่ 4.9 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงก่อนการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน	ค่าสีในรูปผงก่อนการอบ		
(ร้อยละ)	L*	a*	b*
0	$30.17^{b}\pm1.03$	$29.62^{a}\pm1.88$	$3.78^{a}\pm1.41$
5	$30.43^{ab}\pm1.61$	$28.91^{a}\pm2.44$	$3.02^{b}\pm1.06$
10	$30.85^{ab}\pm1.55$	$28.08^{b}\pm2.30$	$2.74^{b}\pm0.83$
15	$30.95^{a}\pm1.28$	$26.07^{c}\pm1.59$	$2.61^{b}\pm1.23$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.9 แสดงให้เห็นว่าปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง โดยเมื่อพิจารณาค่า Perason's correlation จากตาราง จ-9 สำหรับความสัมพันธ์ของมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าความสว่างของแคปซูลพบว่า มอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 0.222 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งเมื่อดูจากผลการทดลองจะพบว่า เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะเพิ่มขึ้น โดยค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ15 มีค่าความสว่างมากกว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 และ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากค่า Perason's correlation สำหรับความสัมพันธ์ของมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าสี a* มีค่าเท่ากับ -0.527 (ตาราง จ-9) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ แสดงให้เห็นว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี a* จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าสี a* ของตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินและเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 จะมีค่าสี a* มากที่สุด โดยมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าสีของแคปซูลที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินและเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 จะมีสีแดงเข้มมากที่สุด ส่วนแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 15 จะมีค่าสี a* น้อยที่สุด เนื่องมาจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่มีสีขาว เมื่อเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินลงไปในปริมาณมากจึงทำให้ค่าสี a* มีค่าลดลงทำให้แคปซูลมีสีแดงที่ซีดลง

และเมื่อพิจารณาที่ค่าสี b* จะพบว่ามีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีเหลือง อันเนื่องมาจากสีของผลึกน้ำผึ้ง โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณมากขึ้นค่าสี b* จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Perason's correlation จากตาราง จ-9 สำหรับความสัมพันธ์ของมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าสี b* ซึ่งพบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ -0.349 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ แสดงว่าเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้สีเหลืองของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งซีดจางลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ค่าสีในรูปผงหลังการอบแห้ง		
		L*	a*	b*
35	0	31.64^{bc} ±0.94	31.59^{b} ±1.21	5.26^{c} ±0.80
	5	33.00^{a} ±1.07	32.67^{a} ±0.62	5.95^{b} ±0.49
	10	32.22^{ab} ±0.85	31.28^{b} ±0.77	4.99^{c} ±1.16
	15	32.10^{b} ±1.57	30.94^{b} ±0.58	4.66^{cd} ±1.24
40	0	30.64^{d} ±0.45	32.83^{a} ±0.42	6.68^{a} ±0.16
	5	31.77^{b} ±0.74	32.60^{a} ±0.36	6.93^{a} ±0.17
	10	30.86^{cd} ±0.53	31.59^{b} ±0.76	6.70^{a} ±0.25
	15	31.83^{b} ±1.09	28.63^{c} ±0.94	4.82^{cd} ±0.20
45	0	31.74^{b} ±0.71	24.57^{e} ±0.60	3.15^{f} ±0.23
	5	30.24^{d} ±0.69	25.86^{d} ±1.07	4.29^{de} ±0.38
	10	30.67^{d} ±0.39	25.27^{de} ±0.99	4.29^{de} ±0.25
	15	30.56^{d} ±0.79	23.35^{f} ±0.82	3.81^{e} ±0.37

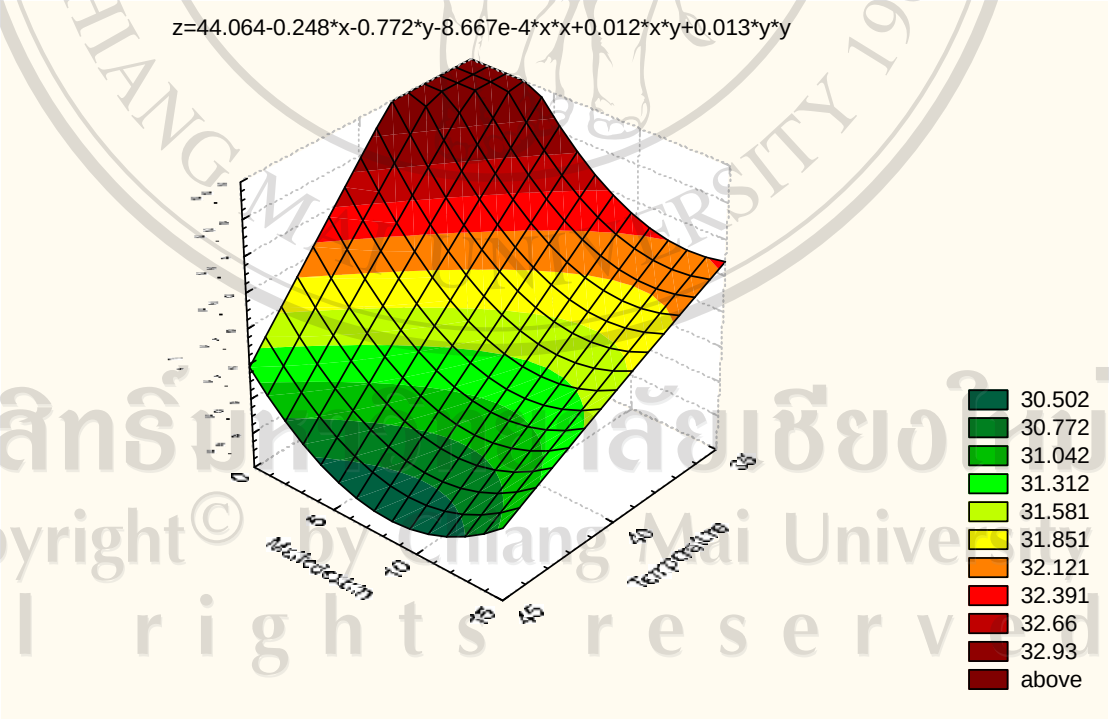
หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 โดยผ่านการอบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างและค่าสี a* สูงสุด นอกจากนั้นตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินและเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 โดยผ่านการอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าสี a* สูงสุดเช่นกัน และเป็นที่น่าสังเกตว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสว่างและค่าสี a* น้อยกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ค่าสี a* ของแคปซูลผงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 45 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงนั้นอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ความเข้มข้นของสารสกัดบีทรูทมีมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากน้ำที่อยู่ในสารสีสกัดจากบีทรูทระเหยออกไปได้เร็วมากขึ้น เมื่อสารสกัดเข้มข้นขึ้นค่าความสว่างจึงมีค่าลดลง จึงเป็นเหตุให้ที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 45 องศาเซลเซียส แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส

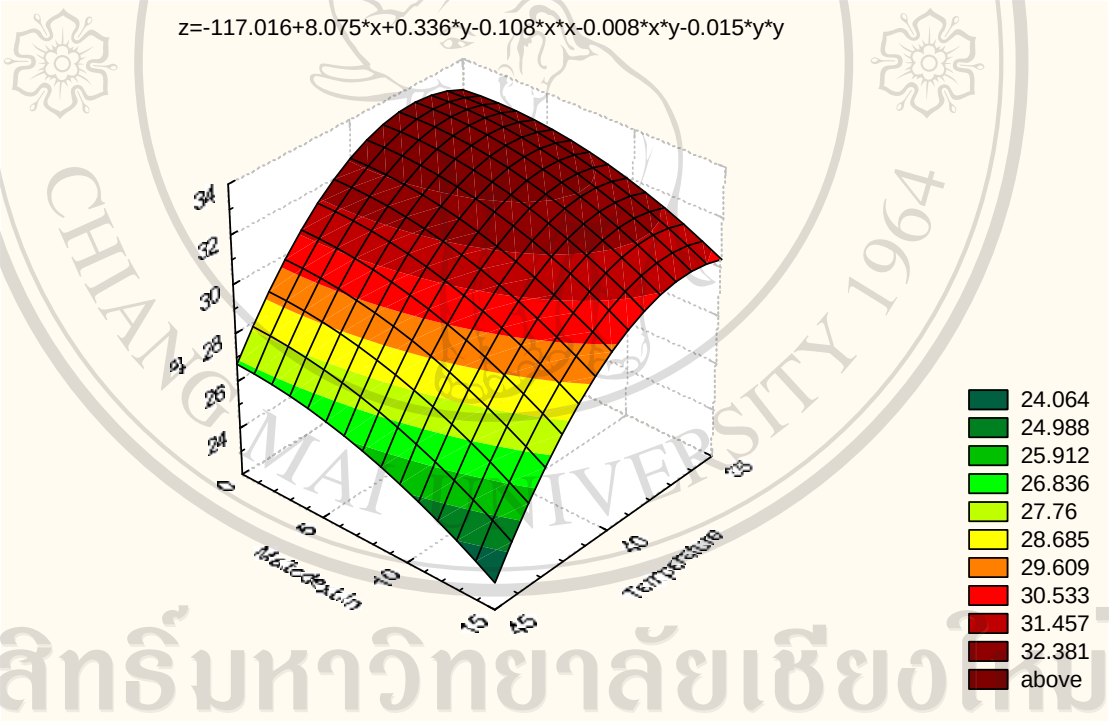
เมื่อพิจารณาที่ค่าสี a* อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าสี a* ลดลง ซึ่งค่าสี a* มาจากสีแดงของสารสกัดบีทรูทที่เติมลงไปในแคปซูล เมื่อใช้อุณหภูมิการอบที่สูงขึ้นเป็นผลทำให้สารสีในบีทรูทเกิดการเสื่อมสลายจึงทำให้ค่าสี a* มีค่าลดลงซึ่งจะทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงที่ซีดจางลง ส่วนค่าสี b* จะเห็นว่าแนวโน้มของค่าสี b* เป็นไปตามค่าสี a* โดยแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าสี b* สูงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าแคปซูลมีสีเหลืองเข้มมากที่สุดเมื่อเทียบกับแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาถึงผลของมอลโตเดกซ์ตรินจะพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นจะส่งผลทำให้แนวโน้มค่าสี b* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าสีขาวของมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี b* โดยการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้สีเหลืองของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีซีดจางลง



รูปที่ 4.6 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าความสว่าง (L*) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.6 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าความสว่าง (L*) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งพบว่า ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 35 องศาเซลเซียส แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่าความสว่าง (L*) มากกว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความสว่าง พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ -0.511 (ตาราง จ-10) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ แต่เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation ของความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าความสว่าง (L*) จากตาราง จ-10 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.004 จะพบว่ามอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.7 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าสี a*ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.7 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ พบว่าการใช้ระดับอุณหภูมิการอบแห้งสูงจะส่งผลทำให้ค่าสี a* มีต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-10 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าสี a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.805 แสดงให้เห็นว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงซีดจาง เนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงมากขึ้น อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงจะมีผลต่อการสลายตัวของสารสีจากบีทรูท เนื่องจากสารบีตาเลนในบีทรูทเป็นสารสีที่ไวต่อความร้อน ดังนั้นการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงมากขึ้นจึงทำให้ค่าสี a* มีค่าต่ำ ดังนั้นการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่ำจึงช่วยรักษาสารสีจากบีทรูทได้ดีกว่า

และเมื่อพิจารณาผลของมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าสี a* จะพบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้น ค่าสี a* จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-10 พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.227 ค่าสี a* ที่ลดลงเนื่องมาจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่มีสีขาว เมื่อมีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณมากจะส่งผลทำให้ค่าสี a* มีค่าต่ำลง ซึ่งทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงที่ซีดจางลง

ตารางที่ 4.11 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายก่อนการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน	ค่าสีในรูปสารละลายก่อนการอบแห้ง		
(ร้อยละ)	L*	a*	b*
0	$23.10^{c}\pm0.49$	$31.32^{c}\pm3.49$	$5.40^{a}\pm0.25$
5	$23.45^{b}\pm0.54$	$34.08^{a}\pm0.93$	$5.00^{a}\pm0.28$
10	$24.19^{a}\pm1.28$	$33.31^{b}\pm1.74$	$4.27^{b}\pm0.77$
15	$23.59^{b}\pm1.10$	$33.16^{b}\pm1.67$	$4.08^{b}\pm0.76$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.11 จะพบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยพบว่าการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-11 พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่าง (L*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.257 การที่ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นก็เนื่องจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินซึ่งมีสีขาวเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินลงไปใน

ปริมาณมากจึงส่งผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี a* พบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 จะมีค่าสี a* ต่ำกว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่มีสีขาว เมื่อมีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจึงส่งผลทำให้ค่าสี a* มีค่าลดลง ดังนั้นแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีสีแดงที่ซีดจางลง และเมื่อพิจารณาที่ค่าสี b* จะพบว่าเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นค่าสี b* จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-11 พบว่า มอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.680 การที่ค่าสี b* มีค่าลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มมากขึ้นนั้นก็เนื่องมาจากสีขาวของมอลโตเดกซ์ตรินที่เติมลงไปในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีเหลืองที่ซีดจางลง

ตารางที่ 4.12 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ค่าสีในรูปสารละลายหลังการอบ		
		L*	a*	b*
35	0	$22.04^{g} \pm 0.02$	$33.58^{ab} \pm 0.72$	$4.60^{abc} \pm 0.42$
	5	$23.02^{cd} \pm 0.11$	$31.22^{bc} \pm 1.20$	$3.69^{cd} \pm 0.59$
	10	$23.23^{bc} \pm 0.14$	$27.95^{d} \pm 2.83$	$2.86^{d} \pm 1.06$
	15	$23.39^{ab} \pm 0.11$	$29.64^{cd} \pm 0.68$	$4.06^{bc} \pm 0.41$
40	0	$22.45^{f} \pm 0.12$	$33.42^{ab} \pm 0.21$	$5.00^{ab} \pm 0.12$
	5	$22.83^{de} \pm 0.09$	$33.92^{a} \pm 0.06$	$5.41^{a} \pm 0.08$
	10	$22.82^{de} \pm 0.13$	$33.46^{ab} \pm 0.24$	$5.68^{a} \pm 0.45$
	15	$22.96^{cd} \pm 0.26$	$31.41^{bc} \pm 1.98$	$4.29^{bc} \pm 0.77$
45	0	$22.51^{ef} \pm 0.29$	$33.17^{ab} \pm 1.85$	$4.86^{ab} \pm 0.55$
	5	$22.95^{cd} \pm 0.15$	$33.42^{ab} \pm 0.44$	$4.76^{abc} \pm 0.23$
	10	$23.72^{a} \pm 0.66$	$30.07^{cd} \pm 3.64$	$4.62^{abc} \pm 1.83$
	15	$22.75^{def} \pm 0.35$	$30.40^{c} \pm 1.34$	$4.02^{bc} \pm 0.64$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

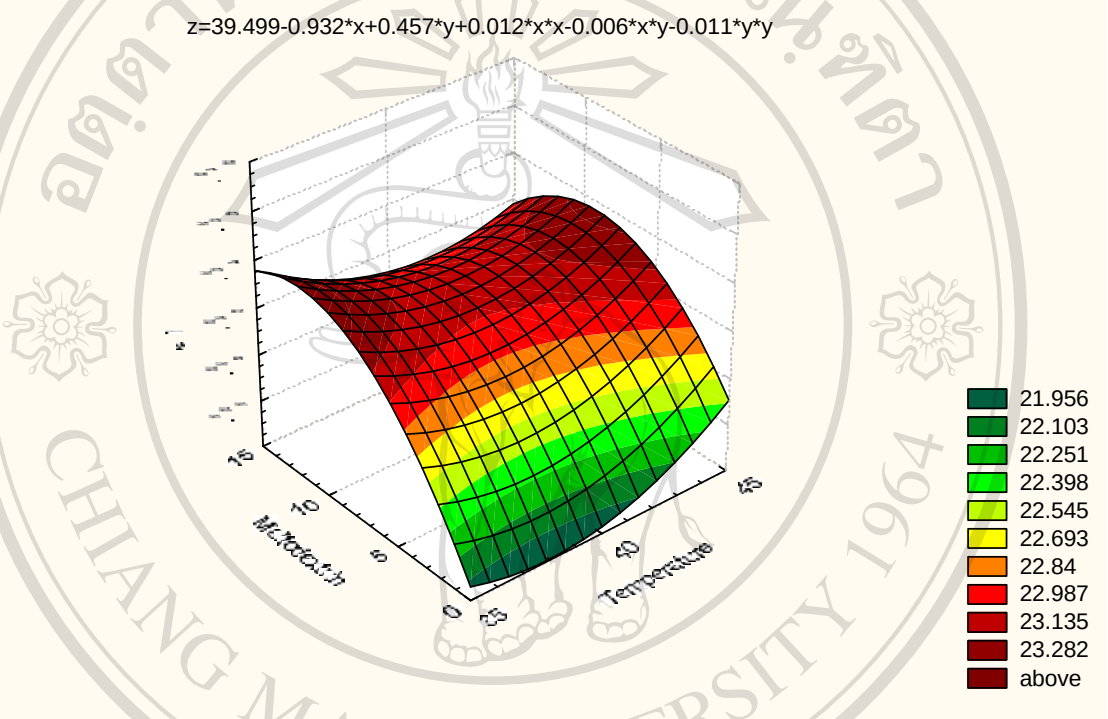
จากตารางที่ 4.12 พบว่าค่าสีในรูปสารละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ10 จะมีค่าความสว่างมากที่สุด ส่วนค่าสี a* พบว่าตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 จะมีค่าสี a* สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากค่าความสว่าง (L*) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศทุกระดับอุณหภูมิจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้น ค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีแนวโน้มที่มากขึ้น เนื่องจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่มีสีขาว เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นก็จะส่งผลทำให้ค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมากขึ้น และเมื่อดูผลของอุณหภูมิจะพบว่าแนวโน้มค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีความสว่างมากกว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสว่างในรูปผงของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยค่าความสว่างจะมีค่ามากกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่าสี a* จะพบว่าแนวโน้มค่าสี a* ที่ทุกระดับอุณหภูมิการอบแห้ง แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 จะมีค่าสี a* ต่ำกว่าแคปซูลที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินและเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 เมื่อเทียบที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการเติมมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นจะทำให้สีแดงของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีซีดจางลงเนื่องจากสีขาวของมอลโตเดกซ์ตริน และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิจะพบว่าค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสจะมีค่าต่ำกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้น อาจทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารสีจากบีทรูทจึงส่งผลทำให้ค่าสี a* มีค่าลดลง ทำให้แคปซูลมีสีแดงที่ซีดจางลง อีกทั้งแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสโดยเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 จะมีค่าสี a* มีค่าต่ำกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 40 และ 45 องศาเซลเซียส เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 อาจเนื่องมาจากผลของความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสที่มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ จึงทำให้ค่าสี a* มีค่าต่ำ ส่งผลให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงที่ซีดจางลง

เมื่อพิจารณาที่ค่าสี b* จะพบว่ามีแนวโน้มตามค่าสี a* โดยพบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าสี b* มากที่สุด แสดงให้เห็นว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีเหลืองเข้มมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาถึงผลของมอลโตเดกซ์ตรินก็จะพบว่าเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นค่าสี b* ก็จะมีค่าลดลง นั่นแสดงว่าสีของมอลโตเดกซ์ตรินซึ่งเป็นสีขาวส่งผลทำให้สีเหลืองของแคปซูลซีดจางลงเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้น

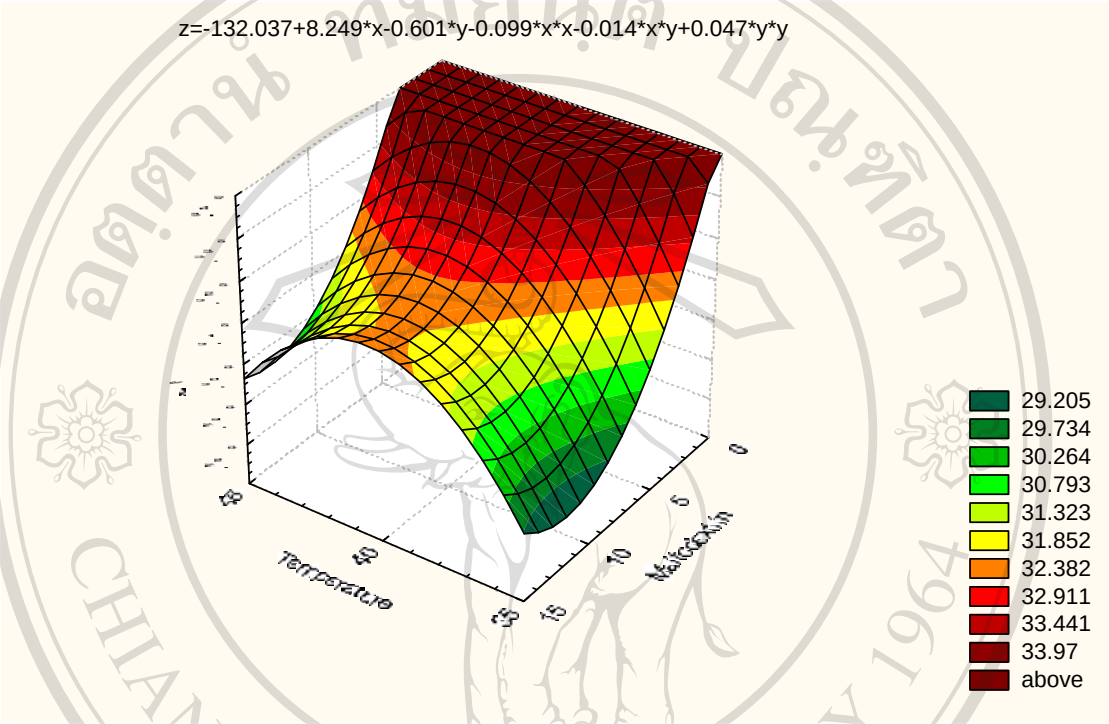


รูปที่ 4.8 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าความสว่าง (L*) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.8 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าความสว่าง (L*) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะพบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความสว่างของแคปซูลในรูปสารละลายมีค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-12 ที่แสดงให้เห็นว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกโดยมีค่าเท่ากับ 0.560 การที่ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องมาจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่ส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากค่า Pearson's correlation จะพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 0.051



รูปที่ 4.9 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.9 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่อค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ จะพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าสี a* ของแคปซูลมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-12 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าสี a* พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี a* อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.517 โดยเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินลงไปในปริมาณมากขึ้น แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีสีแดงซีดจาง เนื่องมาจากสีขาวของมอลโตเดกซ์ตริน เมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิต่อค่าสี a* จากค่า Pearson's correlation จะพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าสี a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 0.199

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 สรุปค่า Pearson's correlation ของสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง

สมบัติของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง	สมบัติของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง											
	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	ความชื้น	a_w	ความสามารถในการละลาย	ความสามารถในการไหล	ค่าสีในรูปผง			ค่าสีในรูปสารละลาย		
						L*	a*	b*	L*	a*	b*
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	0.629**	0.320	-0.985**	-0.225	-0.387**	-0.511**	-0.805**	-0.420**	0.051	0.199	0.313*
มอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	0.607**	-0.274	-0.126	0.035	0.078	0.004	-0.227*	-0.189	0.560**	-0.517**	-0.261*

หมายเหตุ : 1) * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.13 สามารถสรุปความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและมอลโตเดกซ์ตรินต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง จะพบว่าอุณหภูมิและมอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า IC_{50} เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะลดลง นอกจากนั้นจะพบว่าอุณหภูมิและมอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อความชื้นและความสามารถในการละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่า a_w และความสามารถในการไหลจะพบว่า อุณหภูมิมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ค่า a_w และค่ามุมกองจะมีค่าลดลงซึ่งหมายถึงแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีความสามารถในการไหลดีขึ้น ส่วนมอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อค่า a_w และความสามารถในการไหลของแคปซูล เมื่อพิจารณาที่ค่าสีในรูปผงจะพบว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อ ค่าความสว่าง ค่าสี a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสว่าง ค่าสี a* และ ค่าสี b* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่าลดลง ส่วนปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินจะมีผลต่อค่าสี a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ นั่นคือมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้น ค่าสี a* มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาค่าสีในรูปสารละลายจะพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความสว่าง ค่าสี a* และ b* แต่มอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่าง ค่าสี a* และค่า b* โดยพบว่าเมื่อปริมาณมอลโต เดกซ์ตรินมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของแคปซูลผลึกน้ำผึ้งเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี a* และ b* จะมีค่าลดลง

จากผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันร่วมของสารสีสกัดจากธรรมชาติกับผลึกน้ำผึ้งโดยการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศพบว่า สภาวะการเอนแคปซูเลชันที่เหมาะสมคือ การอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีค่า a_w ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.292-0.316 ซึ่งเป็นช่วงที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (Fennema, 2008) และเนื่องจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ยังมีความสามารถในการไหลที่ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยค่ามุมกองของแคปซูลมีค่าต่ำกว่า 30 องศา แสดงให้เห็นว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการไหลที่ดี (Geldart, 2006) นอกจากนั้นการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ยังให้ค่าสี a* ทั้งในรูปแคปซูลผงและสารละลายสูงที่สุด แสดงว่ามีสีแดงเข้มที่สุด ส่วนปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันคือร้อยละ 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสารสกัดบีทรูท เนื่องจากมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งยังให้ค่าสี a* ทั้งในรูปแคปซูลผงและสารละลายที่สูงมากที่สุดซึ่งทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงเข้มมากที่สุด

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลึกน้ำผึ้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เมื่อนำสารสีสกัดจากธรรมชาติมาผสมกับมอลโตเดกซ์ตรินโดยแปรระดับความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน 3 ระดับคือร้อยละ 5 10 และ15 จากนั้นนำไปผสมกับผลึกน้ำผึ้ง นำของผสมที่ได้ไปทำให้แห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ความดัน 133×10^{-3} มิลลิบาร์ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังตาราง 4.14 ถึง 4.20

ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง)
0	$384.67^{a} \pm 6.48$	$9.41^{a} \pm 0.16$
5	$469.00^{b} \pm 10.85$	$11.38^{b} \pm 0.26$
10	$532.17^{d} \pm 10.60$	$12.71^{c} \pm 0.25$
15	$509.10^{c} \pm 7.20$	$12.35^{c} \pm 0.17$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.14 พบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินมีค่า IC_{50} ต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 9.41 ± 0.16 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 11.38 ± 0.26 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ส่วนแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ10 และ 15 มีค่า IC_{50} เท่ากับ 12.71 ± 0.25 และ 12.35 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ซึ่งจะเห็นได้

ว่าเมื่อเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้น ค่า IC_{50} จะสูงขึ้น (ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง) เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารสกัดบีทรูทที่มีอยู่ในแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่าลดลงเมื่อเทียบในปริมาณที่เท่ากัน จึงทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.15 สมบัติทางเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	Water activity (a_w)		ความชื้น	
	ก่อนทำแห้ง	หลังทำแห้ง^{ns}	ก่อนทำแห้ง^{ns}	หลังทำแห้ง^{ns}
0	0.676^{a}±0.001	0.278±0.031	11.696±0.181	5.186±0.188
5	0.663^{b}±0.010	0.290±0.031	11.752±0.151	5.142±0.353
10	0.660^{b}±0.006	0.262±0.013	11.566±0.082	5.063±0.240
15	0.662^{b}±0.006	0.275±0.008	11.270±0.424	5.143±0.225

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.15 พบว่าค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 10 และ 15 มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.660-0.663 ส่วนแคปซูลที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินมีค่า a_w เท่ากับ 0.676±0.001 ซึ่งสูงกว่าค่า a_w ของแคปซูลที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากมอลโตเดกซ์ตรินจะดูดซับความชื้นจากสารสกัดสีเอาไว้ เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นก็จะทำให้ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งลดลง ส่งผลทำให้ค่า a_w ลดลง ดังนั้นค่า a_w ของแคปซูลที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 10 และ 15 จึงมีค่าน้อยกว่าแคปซูลที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตริน ส่วนค่า a_w หลังการทำแห้งของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีค่าลดลงจากก่อนการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่า a_w หลังการทำแห้งอยู่ในช่วง 0.262-0.290 ซึ่งเป็นช่วงที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษาเนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.5 (Fennema,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2008) ส่วนปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังทำแห้งพบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งจากรายงานการวิจัยของพีรพล (2551) ซึ่งศึกษาสภาวะการผลิตน้ำผึ้งผงที่เหมาะสมโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาหาระดับของ DE และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินโดยเลือกศึกษาปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 30 40 และ 50 พบว่าน้ำผึ้งผงที่ได้มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยน้ำผึ้งผงที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.0-4.9 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการทำแห้งที่ได้จากผลการทดลอง

ตารางที่ 4.16 สมบัติทางกายภาพของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ความสามารถในการละลาย^{ns} (ร้อยละ)	ความสามารถในการไหล (องศา)
0	99.79±0.55	30.35^{c}±1.63
5	99.89±0.18	30.90^{c}±1.65
10	99.88±0.67	35.10^{b}±0.74
15	100.00±0.00	37.10^{a}±1.31

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

2) เครื่องหาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.16 พบว่าความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจากผลการทดลองจะเห็นว่าความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่าการละลายที่สูงมากโดยมีค่าการละลายอยู่ในช่วงร้อยละ 99.79-100.00 เนื่องมาจากองค์ประกอบของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งประกอบไปด้วยผลึกน้ำผึ้ง มอลโตเดกซ์ตริน และสารสกัดจากบีทรูท ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดสามารถละลายได้ในน้ำ จึงทำให้ค่าการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่าสูงมาก ส่วนความสามารถในการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไหลซึ่งวิเคราะห์จากค่ามุมกอง (angle of repose) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 30.35-37.10 องศา แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีการเกาะตัวกันบ้างเล็กน้อย (Geldart *et al*., 2006) โดยตัวอย่างแคปซูลที่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ5 มีความสามารถในการไหลที่ดีกว่าตัวอย่างแคปซูลที่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีค่ามุมกองที่ต่ำกว่า การเกาะตัวกันของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งนั้นอาจเนื่องมาจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งก่อให้เกิดรูพรุนในระหว่างการทำแห้ง (Fellows, 2000) แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจึงสามารถดูดความชื้นเข้าไปได้เร็ว ทำให้ตัวอย่างเกาะตัวกันได้ นอกจากนั้นรูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งยังมีผลต่อความสามารถในการไหลอีกด้วย โดยแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นรูปร่างของแคปซูลจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอ เนื่องมาจากในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดการละลายของน้ำแข็งที่อยู่รอบผลึกน้ำผึ้ง ส่งผลทำให้น้ำละลายมอลโตเดกซ์ตรินและผลึกน้ำผึ้งจนทำให้ผลึกน้ำผึ้งเกิดการเกาะตัวกัน จึงเป็นผลทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ส่งผลทำให้ความสามารถในการไหลเกิดได้ไม่ดีมากนัก

ตารางที่ 4.17 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ค่าสีในรูปผงก่อนการทำแห้ง		
	L*	a*	b^{*ns}
0	$30.28^{b} \pm 1.21$	$28.64^{a} \pm 0.94$	2.49 ± 1.44
5	$30.32^{b} \pm 1.60$	$28.19^{ab} \pm 1.05$	2.46 ± 0.81
10	$32.26^{a} \pm 1.61$	$27.76^{ab} \pm 1.37$	2.53 ± 0.97
15	$32.30^{a} \pm 1.20$	$26.86^{b} \pm 1.76$	2.63 ± 0.23

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.17 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงก่อนการทำแห้งมีค่ามากขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าที่ระดับการเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่าความสว่างมากกว่าที่ระดับการเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้อง

กับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-19 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.548 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้น ค่าความสว่างของแคปซูลมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งความสว่างที่มากขึ้นเนื่องมาจากสีขาวของมอลโตเดกซ์ตริน ส่วนค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งพบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นค่าสี a* จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-19 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าสี a* ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี a* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.470 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งหมายถึงการใช้มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าสี a* ลดลง เนื่องมาจากสีขาวของมอลโตเดกซ์ตรินเมื่อใช้มอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจึงมีสีแดงซีดจางลง ส่วนค่าสี b* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยแสดงค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งเป็นสีเหลืองอันเนื่องมาจากสีของผลึกน้ำผึ้ง

ตารางที่ 4.18 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ค่าสีในรูปผงหลังการทำแห้ง		
	L*	a*	b*
0	$37.32^{a} \pm 1.04$	$25.64^{b} \pm 0.88$	$5.75^{a} \pm 0.48$
5	$33.20^{b} \pm 0.59$	$26.95^{a} \pm 0.81$	$5.57^{a} \pm 0.93$
10	$36.96^{a} \pm 0.95$	$25.65^{b} \pm 0.96$	$4.42^{b} \pm 0.34$
15	$37.55^{a} \pm 0.88$	$24.86^{b} \pm 1.47$	$4.39^{b} \pm 0.26$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.18 พบว่าตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ15 มีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากสีของมอลโต

เดกซ์ตรินที่มีปริมาณมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ส่วนตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ไม่มีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินมีค่าความสว่าง (L*) มากกว่าตัวอย่างที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 และ 10 เพราะมีรูพรุนสูง (higher porosity) ทำให้ดูดกลืนแสงได้มากกว่าทำให้สว่างกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-20 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าความสว่างจะพบว่ามอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 0.162

ส่วนค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งพบว่าแคปซูลที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 มีค่าสี a* ต่ำกว่าแคปซูลที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 เนื่องมาจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่เป็นสีขาว เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจึงส่งผลทำให้ค่าสี a* มีค่าลดลง ส่งผลให้สีแดงของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีอ่อนลง แต่อย่างไรก็ตามจากค่า Pearson's correlation สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าความสว่างจะพบว่ามอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ -0.326 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ

เมื่อพิจารณาที่ค่าสี b* พบว่ามีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีเหลืองเนื่องมาจากสีของผลึกน้ำผึ้ง และเมื่อมีการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นค่าสี b* จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าสี b* โดยพบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี b* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ -0.706 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งหมายถึงการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าสี b* ลดลง เป็นผลมาจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่เป็นสีขาว เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้สีเหลืองของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีอ่อนลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ค่าสีในรูปสารละลายก่อนการทำแห้ง		
	L*	a*	b*^{ns}
0	23.37^{c}±0.86	32.11^{a}±0.99	4.00±0.56
5	23.84^{bc}±0.66	32.00^{ab}±0.31	4.16±0.40
10	24.31^{ab}±0.52	31.40^{b}±0.26	4.15±0.27
15	24.78^{a}±0.56	31.50^{ab}±0.09	4.27±0.09

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.19 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายโดยจะมีค่าความสว่างมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-21 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.656 และเมื่อพิจารณาค่าสี a* จะพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-21 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับค่าสี a* ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี a* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ โดยมีค่าเท่ากับ -0.471 ค่าสี a* ที่ลดลงเนื่องจากสีขาวของมอลโตเดกซ์ตริน เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงที่ซีดจางลง และเมื่อพิจารณาค่าสี b* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าสี b* แสดงค่าเป็นบวกแสดงว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีเหลืองซึ่งเป็นสีของผลึกน้ำผึ้ง เมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พิจารณาจากค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-21 จะพบว่าปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินไม่มีผลต่อค่าสี b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 0.252

ตารางที่ 4.20 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละ)	ค่าสีในรูปสารละลายหลังการทำแห้ง		
	L*	a*	b*^{ns}
0	23.12^{c}±1.12	32.97^{a}±0.66	5.63±0.54
5	23.87^{bc}±0.23	32.31^{a}±1.07	5.42±0.62
10	24.17^{ab}±1.02	29.97^{b}±0.50	5.20±0.14
15	24.91^{a}±0.53	30.10^{b}±0.44	5.19±0.54

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.20 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายโดยพบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 จะมีค่าความสว่างมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-22 พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าความสว่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.636 แสดงให้เห็นว่าการเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าสี a* จะพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นค่าสี a* ของแคปซูลที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ10 และ 15 จะมีค่าต่ำกว่าแคปซูลที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากสีของมอลโตเดกซ์ตรินที่เป็นสีขาวเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีสีแดงซีดจางลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-22 พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี a* ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.825

เมื่อพิจารณาที่ค่าสี b* จะพบว่ามีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าสีของแคปซูลมีสีเหลืองเนื่องมาจากสีของผลึกน้ำผึ้ง โดยแนวโน้มของค่าสี b* เมื่อเติมมอลโตเดกซ์ตรินในปริมาณที่มากขึ้นค่าสี b* จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-22 พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินมีผลต่อค่าสี b* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.345

จากการศึกษาการเอนแคปซูเลชันสารสีธรรมชาติร่วมกับผลึกน้ำผึ้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่า ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่เหมาะสมคือ การเติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 เนื่องจากทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีความสามารถในการไหลซึ่งวิเคราะห์จากค่ามุมกองที่ดี อีกทั้งยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าตัวอย่างที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และให้ค่าสี a* ทั้งในรูปแคปซูลผงและสารละลายสูงที่สุด

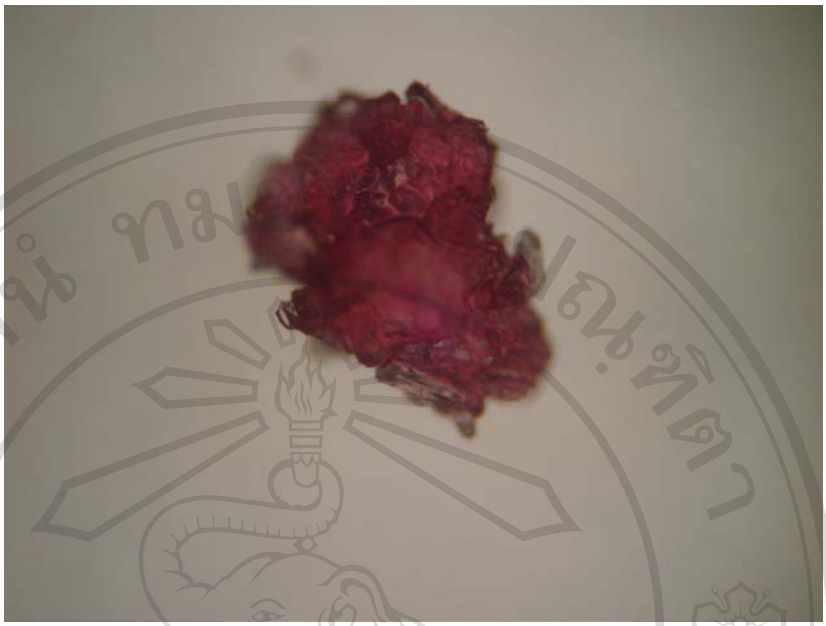
4.4 คุณภาพของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

คัดเลือกตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 และผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่เติมมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 5 จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด นำแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ได้จากการเอนแคปซูเลชันทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส ดังรูปที่ 4.10, 4.11 และตารางที่ 4.21

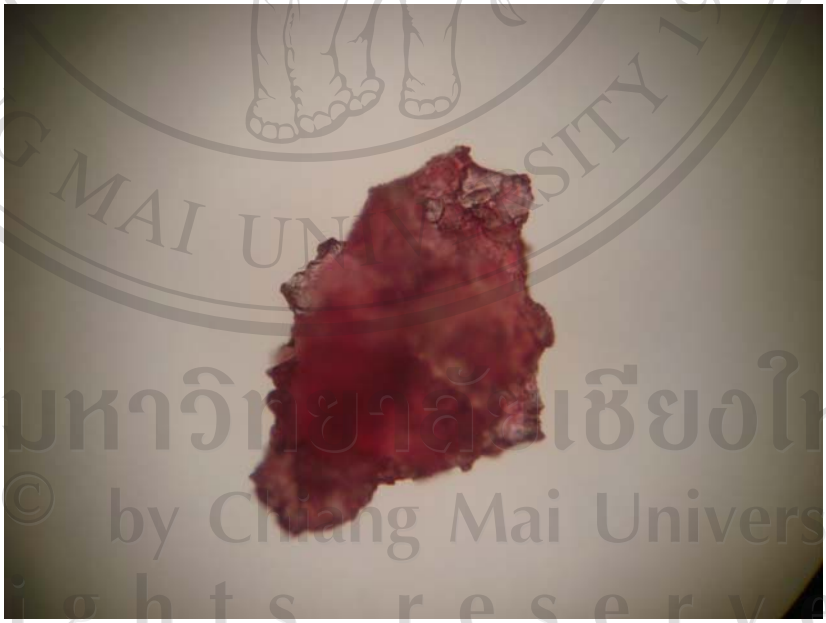
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.21 ขนาดของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง

ตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง	ขนาดผลึก	
	กว้าง (มิลลิเมตร)	ยาว (มิลลิเมตร)
ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	1.164±0.293	1.470±0.371
ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	1.621±0.254	2.083±0.386



รูปที่ 4.10 รูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ



รูปที่ 4.11 รูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการศึกษาขนาดและรูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งโดยการส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่า แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีขนาดใหญ่กว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ อาจเนื่องมาจากในระหว่างการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดการละลายของน้ำแข็งที่อยู่รอบผลึกน้ำผึ้ง ส่งผลทำให้น้ำละลายมอลโตเดกซ์ตรินและผลึกน้ำผึ้งจนทำให้ผลึกน้ำผึ้งเกิดการเกาะตัวกันอย่างถาวรจึงเป็นผลทำให้แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีขนาดใหญ่กว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4.21 ส่วนรูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.22 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผง

ตัวอย่างแคปซูลผลึกน้ำผึ้ง	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	การละลายในปาก^{ns}	รสชาติ^{ns}	การยอมรับโดยรวม^{ns}
อบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	7.2±1.0	7.6±1.0	6.0±1.0	6.3±1.6	6.4±1.2	6.6±1.0
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	7.1±1.1	7.2±1.0	6.1±1.1	6.5±1.6	6.6±1.3	6.7±1.3

หมายเหตุ : 1) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.22 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผง โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 50 คน ทดสอบชิมแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งทั้งแบบผงและแบบชงละลายพบว่า ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การละลายในปาก รสชาติ และการยอมรับโดยรวมของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผงโดยผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศนั้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาจากค่า Pearson's correlation (ตาราง จ-23 และ จ-24) พบว่าลักษณะปรากฏของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีผลเนื่องมาจากค่าสีของแคปซูลมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ 0.654 สำหรับการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและ 0.805 สำหรับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากคะแนนทางประสาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัมผัส ผู้บริโภคให้การยอมรับสีของแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศมากกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยมีค่าเท่ากับ 7.6±1.0 และ7.2±1.0 โดยเมื่อพิจารณาค่าสีของแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศพบว่าจะมีสีเข้มกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (จากตารางที่ 4.10 และ 4.18) จึงสามารถสรุปได้ว่าผู้บริโภคให้การยอมรับแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งผงที่มีสีเข้มมากกว่าแคปซูลที่มีสีอ่อน

จากตารางที่ 4.22 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับกลิ่น การละลายในปาก และรสชาติของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ อาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนจึงยังคงรักษากลิ่นและรสชาติได้ดีกว่าการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ อีกทั้งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะก่อให้เกิดรูพรุนจึงเป็นผลทำให้เกิดการละลายได้ดีกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากค่า Pearson's correlation (ตาราง จ-23 และ จ-24) พบว่าการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคจะขึ้นอยู่กับรสชาติและการละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ 0.689 และ 0.739 สำหรับการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ, 0.825 และ 0.698 สำหรับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อดูจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้บริโภคจะให้การยอมรับโดยรวมแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยมีค่าคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.7±1.3 และ 6.6±1.0 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาที่คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการละลายและรสชาติจะพบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีคะแนนการยอมรับต่อการละลายและรสชาติมากกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ โดยมีค่าเท่ากับ 6.5±1.6และ 6.6±1.3 ตามลำดับ จึงส่งผลให้ผู้บริโภคให้การยอมรับโดยรวมของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่าการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.23 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบชงละลาย

ตัวอย่างแคปซูลผลึกน้ำผึ้ง	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	การละลายในน้ำ^{ns}	รสชาติ^{ns}	การยอมรับโดยรวม^{ns}
อบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	6.9±1.3	7.4±0.9	6.5±1.5	5.4±1.8	6.7±1.3	6.6±1.4
ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	6.8±1.3	7.3±0.9	6.3±1.4	5.8±1.7	6.4±1.6	6.5±1.3

หมายเหตุ : 1) เครื่องหมาย ^{ns} ในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

เมื่อนำแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 วิธีไปชงละลาย โดยใช้อัตราส่วนแคปซูลผง 1 กรัมต่อน้ำ 2.5 มิลลิลิตร และนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 50 คนพบว่า ความชอบต่อลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การละลายในน้ำ รสชาติและการยอมรับโดยรวมของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.23

เมื่อพิจารณาจากค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-25 และ จ-26 พบว่าลักษณะปรากฏของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีผลเนื่องมาจากค่าสีของแคปซูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเท่ากับ 0.343 สำหรับการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ และ 0.511 สำหรับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับลักษณะปรากฏของแคปซูลสารสกัดสีจากผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศมากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยให้คะแนนความชอบเท่ากับ 6.9±1.3 และ 6.8±1.3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผง โดยเมื่อสังเกตจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากตารางที่ 4.23 จะพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับการละลายในน้ำของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่าแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศโดยมีค่าเท่ากับ 5.8±1.7 และ 5.4±1.8 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะทำให้ตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีรูพรุนสูงจึงทำให้สามารถในละลายน้ำได้เร็วและดีกว่าซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผงที่ผู้บริโภคให้การยอมรับการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ละลายในปากของแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่าอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศเช่นเดียวกัน

จากค่า Pearson's correlation (ตาราง จ-25 และ จ-26) พบว่าการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคจะขึ้นอยู่กับรสชาติ การละลาย และกลิ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ 0.870, 0.573 และ 0.538 ตามลำดับ สำหรับการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ และมีค่าเท่ากับ 0.857, 0.578 และ 0.570 ตามลำดับ สำหรับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งเมื่อดูจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้บริโภคจะให้การยอมรับโดยรวมแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศมากกว่าทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยมีค่าคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.6$\pm$1.4 และ 6.5$\pm$1.3 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาที่คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกลิ่นและรสชาติจะพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศมากกว่าแคปซูลที่ผ่านทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยมีค่าเท่ากับ 6.5$\pm$1.5 และ 6.7$\pm$1.3 ตามลำดับ จึงส่งผลให้ผู้บริโภคให้การยอมรับโดยรวมของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศมากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผงที่ให้การยอมรับแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมากกว่า

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบค่อนข้างต่ำทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ทั้งนี้ผู้ทดสอบชิมอาจยังไม่คุ้นเคยและยังไม่ทราบรายละเอียดถึงคุณประโยชน์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์ หากมีการให้ข้อมูลเพิ่มเติมอาจทำให้มีคะแนนการยอมรับที่สูงขึ้น นอกจากนั้นผู้ทดสอบชิมอาจคุ้นเคยกับเครื่องดื่มที่มีรสชาติเข้มข้นมากกว่านี้ จึงทำให้คะแนนการยอมรับสำหรับผลิตภัณฑ์ต่ำลง

จากตารางที่ 4.24 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดพบว่า แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศนั้นจะมีสมบัติที่ดีกว่าแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)โดยพิจารณาจาก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 9.57$\pm$0.19 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ความสามารถในการไหลซึ่งมีค่ามุมกองเท่ากับ 25.40$\pm$1.58 องศา และค่าสี a* ทั้งในรูปผงและสารละลายโดยมีค่าเท่ากับ 32.60$\pm$0.36 และ 33.92$\pm$0.06 ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการละลาย ความชื้น ค่า a_w ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จึงอาจสรุปได้ว่า การอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศน่าจะเหมาะสมกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เนื่องจากให้แคปซูลที่มีคุณภาพดี ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมที่ดี และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.24 สรุปสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

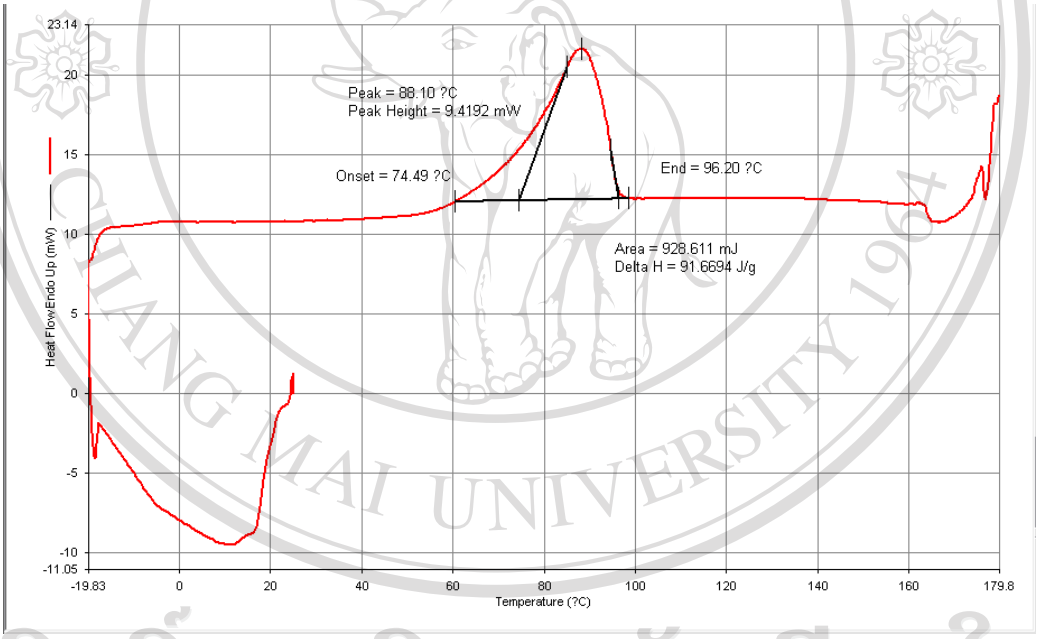
วิธีการทำแห้ง	IC_{50} (มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง)	ความชื้น^{ns} (ร้อยละ)	a_w ^{ns}	ความสามารถในการละลาย^{ns} (ร้อยละ)	ความสามารถในการไหล (องศา)	ค่าสีในรูปผง			ค่าสีในรูปสารละลาย		
						L*	a*	b*	L*	a*	b*^{ns}
ตู้อบสุญญากาศ	9.57^{a}±0.19	4.631±0.118	0.304±0.004	99.98±0.03	25.40^{a}±1.58	31.77^{b}±0.74	32.60^{a}±0.36	6.93^{a}±0.17	22.83^{b}±0.09	33.92^{a}±0.06	5.41±0.08
แช่เยือกแข็ง	11.38^{b}±0.26	5.142±0.353	0.290±0.031	99.89±0.18	30.90^{b}±1.65	33.20^{a}±0.59	26.95^{b}±0.81	5.57^{b}±0.93	23.87^{a}±0.23	32.31^{b}±1.07	5.42±0.62

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

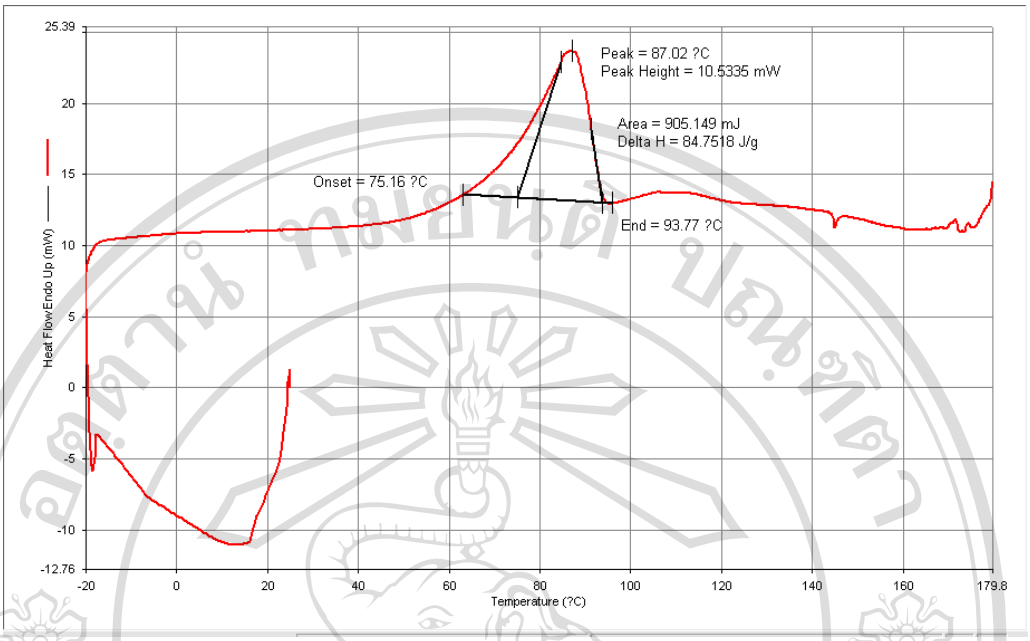
4.4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง

การวิเคราะห์อุณหภูมิการหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งทำโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (Differential scanning calorimeter) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิกลาสทรานซิชันอุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิเยือกแข็ง เป็นต้น ซึ่งสมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด ดังนั้นการทราบสมบัติเหล่านี้อาจช่วยพิสูจน์ลักษณะของอาหารและใช้ในการทำนายความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์อุณหภูมิการหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ผลดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของกลูโคสบริสุทธิ์ (รูปที่ 4.14)

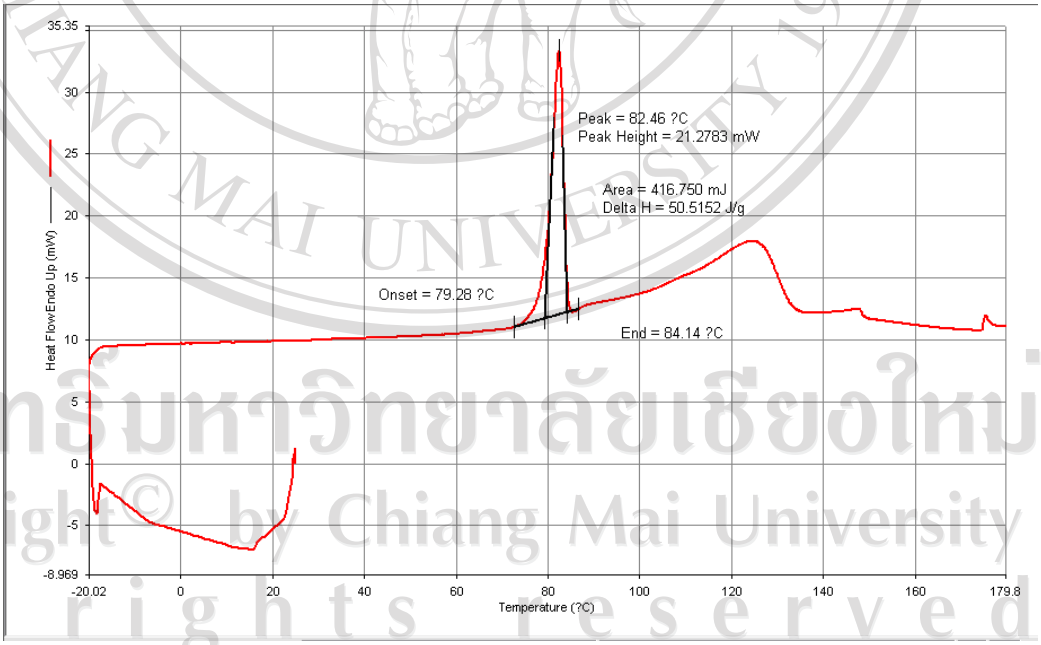


รูปที่ 4.12 จุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.13 จุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง



รูปที่ 4.14 จุดหลอมเหลวของกลูโคส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

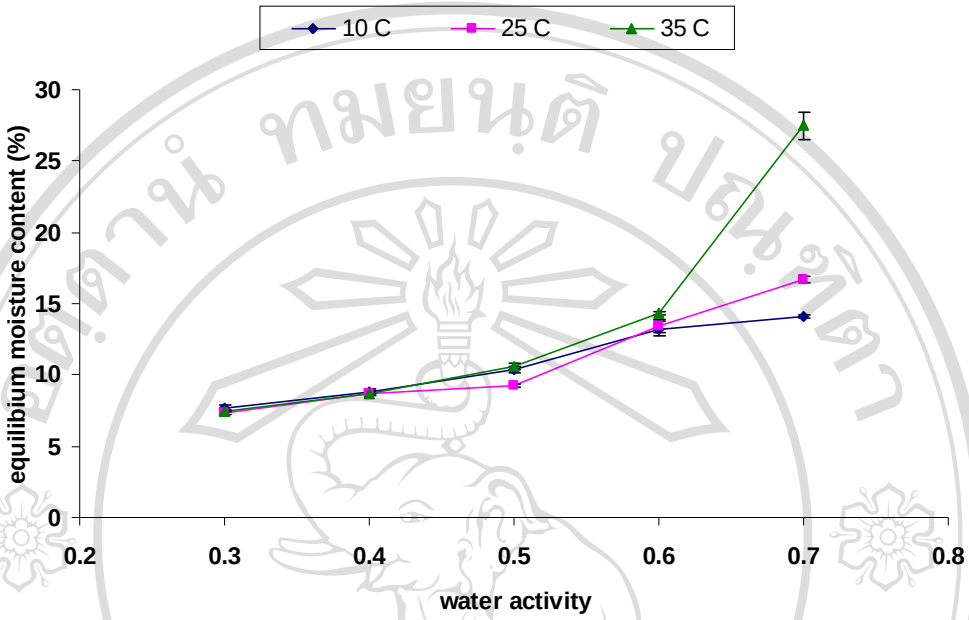
จากรูป 4.12 แสดงการวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ โดยแสดงการคำนวณค่าจุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งด้วยโปรแกรม Pyris 1 Data Analysis พบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีจุดหลอมเหลวที่ 74.49 องศาเซลเซียส และจากรูปที่ 4.13 พบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีจุดหลอมเหลวที่ 75.16 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่าจุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 4.14 แสดงจุดหลอมเหลวของกลูโคสบริสุทธิ์พบว่ากลูโคสบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวที่ 79.28 องศาเซลเซียส โดยจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากการอบแห้งทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของกลูโคส แสดงให้เห็นว่าผลึกน้ำผึ้งที่นำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลชันร่วมกับสารสีจากธรรมชาตินั้นเป็นน้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์ที่ได้จากการตกผลึกตามธรรมชาติของน้ำผึ้ง

4.5 ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (sorption isotherm) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

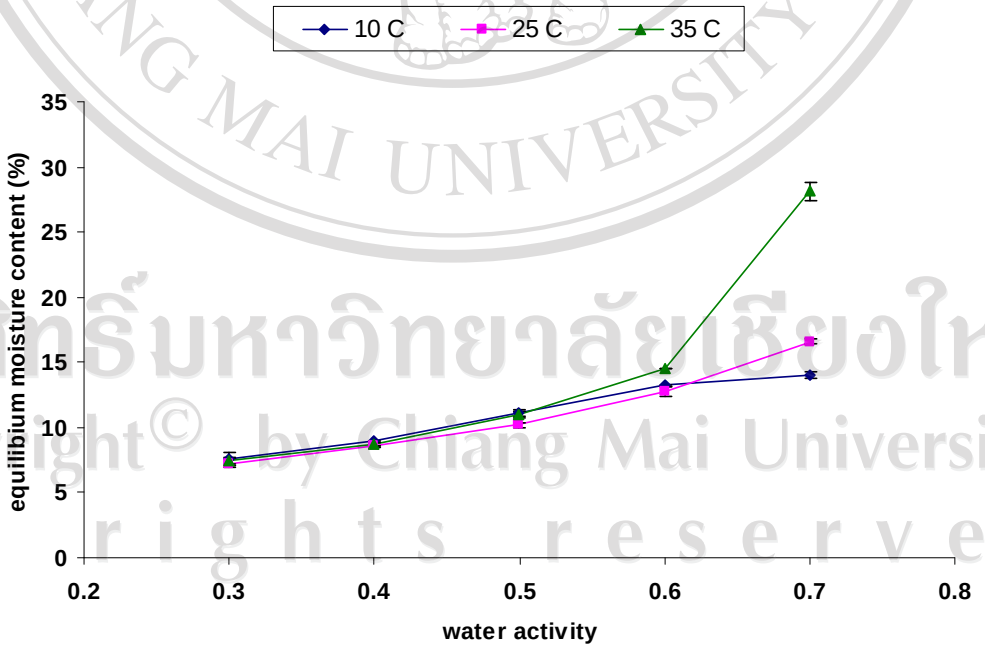
คัดเลือกตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดจากการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มด้วยวิธี gravimetric method เนื่องจากค่า a_w เริ่มต้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดจากการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 0.304 ± 0.004 และ 0.290 ± 0.031 ตามลำดับ จึงเก็บรักษาตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับ a_w 0.3-0.7 ที่ระดับอุณหภูมิ 10 25 และ 35 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุล (Bell and Labuza, 2000) จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและได้ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทำโดยเก็บตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับ a_w แตกต่างกัน 7 ระดับ (0.1-0.7) ที่อุณหภูมิ 10 25 และ 35 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นนำตัวอย่างแคปซูลมาวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH scavenging activity (Turkmen *et al.*, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.1 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง



รูปที่ 4.15 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ



รูปที่ 4.16 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกราฟซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิ 10 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศมีลักษณะคล้ายกัน โดยพบว่า ที่ระดับ a_w 0.3-0.5 ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ได้จากการทำแห้งทั้งสองวิธีจะเกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการที่แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งเปลี่ยนสถานะจากกลาสไปเป็นของเหลวหนืด (Perdomo *et al*., 2009) และเมื่อระดับ a_w สูงขึ้นคือที่ระดับ a_w ในช่วง 0.5-0.7 พบว่าความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งมีค่าสูงมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลน้ำจะเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวของผลึกน้ำผึ้งผ่านทางพันธะไฮโดรเจน และจะเข้าไปสลายพันธะระหว่างผลึกเดี่ยวในกลุ่มผลึกน้ำผึ้ง ส่งผลทำให้โมเลกุลน้ำแทรกซึมเข้าไปและทำให้เกิดการละลายของผลึกเดี่ยวในกลุ่มผลึกน้ำผึ้ง จึงทำให้ความชื้นของผลึกน้ำผึ้งเพิ่มขึ้นสูง (Bell and Labuza, 2000) ซึ่งลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจากการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Fabra *et al*. (2009) ซึ่งศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มขององุ่นโดยพบว่าที่ระดับ a_w สูงๆ ปริมาณความชื้นสมดุลขององุ่นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งจากรายงานการวิจัยของ Yan *et al*. (2007) ซึ่งได้ศึกษา ซอร์ปชันไอโซเทอมของกล้วย พบว่าปริมาณความชื้นสมดุลของกล้วยจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับ a_w สูงขึ้น เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิการทำซอร์ปชันไอโซเทอร์มเดียวกัน ซึ่งลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มประเภทนี้จะเกิดกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งจัดเป็นซอร์ปชันไอโซเทอร์มประเภทที่ 3 เมื่อจำแนกตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสมดุลของอาหาร เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเดียวกัน (Rahman, 1995)

และเมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้นจะพบว่าปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นโดยเฉพาะที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถดูดซับความชื้น (hygroscopicity) ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Myhara และ Sablani (2001) ซึ่งพบว่าลูกเกดซึ่งมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงและผลอินทผาลัมจะมีปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง นำมาวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มในรูปแบบของ Oswin, BET และ GAB เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มในช่วงที่ไม่มีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้ค่าคงที่ของแบบจำลอง Oswin, BET และ GAB ดังตารางที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.25 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ Oswin

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม		R^2	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ช่วงของ a_w
		A	B			
อบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	10	0.0771	0.3622	0.8611	1.28	0.3-0.7
	25	0.0664	0.4928	0.9581	1.01	
	35	0.0547	0.8049	0.9883	1.18	
แบบแช่เยือกแข็ง	10	0.0793	0.3501	0.8249	1.41	
	25	0.0667	0.4874	0.9794	0.70	
	35	0.0548	0.8194	0.9893	1.18	

ตารางที่ 4.26 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ BET

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม		R^2	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ช่วงของ a_w
		M_0	C			
อบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	10	0.055	7.315×10^7	0.9153	1.16	0.3-0.7
	25	0.062	14.709	0.9723	0.78	
	35	0.271	0.291	0.9465	2.87	
แบบแช่เยือกแข็ง	10	0.056	8.581×10^7	0.8889	1.35	
	25	0.061	16.609	0.9964	0.28	
	35	0.303	0.257	0.9465	2.87	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.27 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ GAB

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม			R^2	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	ช่วงของ a_w
		M_0	k	C			
อบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	10	0.124	0.598	5.152	0.9608	0.66	0.3-0.7
	25	0.055	1.041	90.013	0.9739	0.76	
	35	0.043	1.264	3.554×10^8	0.9915	1.10	
แบบแช่เยือกแข็ง	10	0.751	0.019	20.820	0.9784	0.48	
	25	0.058	1.017	26.619	0.9967	0.27	
	35	0.044	1.267	1.641×10^8	0.9927	1.07	

จากตารางที่ 4.25 ถึง 4.27 พบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ GAB เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง เนื่องจากมีค่า R^2 สูงที่สุดโดยอยู่ในช่วง 0.9608-0.9967 และมีความคลาดเคลื่อนของการทำนายน้อยที่สุดในช่วงร้อยละ 0.27-1.10 โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ GAB เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับอาหารส่วนใหญ่ โดยคลอบคลุมค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ในช่วงกว้างกว่าแบบจำลองของ BET ซึ่งแบบจำลองของ GAB สามารถใช้ทำนายลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ เช่น ในอินธผาลัมสดและ อินธผาลัมผง (Ahmed *et al*., 2005) สับปะรดผง (Gabas *et al*.,2007) ราสเบอร์รี่ (Syamaladevi *et al*., 2009) ผลกีวี่ (Moraga *et al*., 2006) และองุ่น (Fabra *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง

ตารางที่ 4.28 ผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

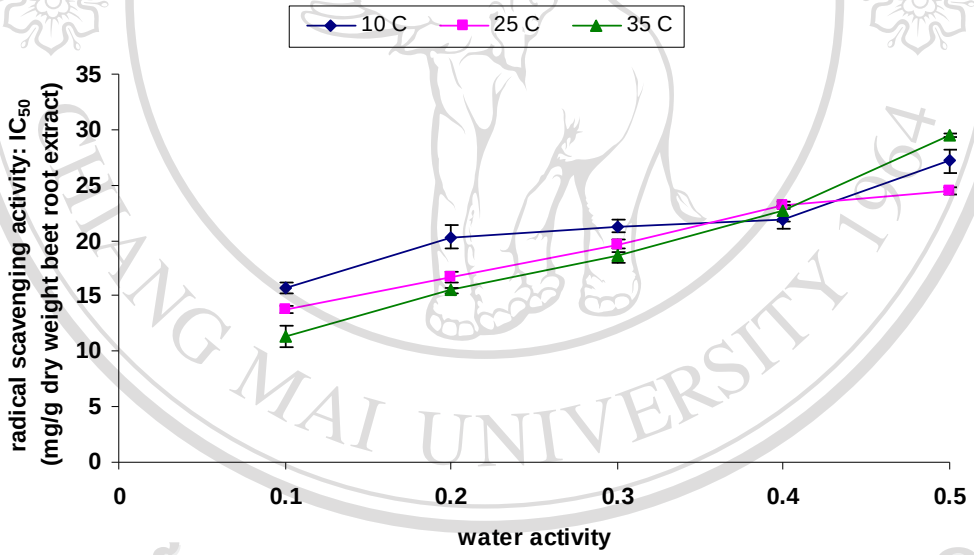
a_w	อบแห้งแบบสุญญากาศ					
	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)			กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/กรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง)		
	10 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	10 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส
0.1	$495.87^{aAB}\pm7.25$	$481.96^{aA}\pm10.60$	$498.27^{aB}\pm0.97$	$15.71^{aC}\pm0.53$	$13.75^{aB}\pm0.31$	$11.36^{aA}\pm0.91$
0.2	$566.33^{cdA}\pm16.50$	$549.76^{bA}\pm9.26$	$542.74^{bA}\pm6.17$	$20.31^{bB}\pm1.11$	$16.75^{bA}\pm0.47$	$15.49^{bA}\pm0.20$
0.3	$584.84^{dB}\pm21.59$	$565.41^{bB}\pm10.00$	$531.80^{bA}\pm16.36$	$21.26^{bB}\pm0.54$	$19.53^{cA}\pm0.56$	$18.66^{cA}\pm0.65$
0.4	$528.04^{bA}\pm15.40$	$561.91^{bB}\pm6.57$	$549.01^{bAB}\pm18.78$	$21.89^{bA}\pm0.90$	$23.15^{dA}\pm0.04$	$22.61^{dA}\pm0.91$
0.5	$553.08^{bcA}\pm12.82$	$559.16^{bA}\pm10.38$	$589.62^{cB}\pm9.32$	$27.14^{cB}\pm1.11$	$24.48^{eA}\pm0.31$	$29.50^{eC}\pm0.09$

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในตาราง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กเป็นการเปรียบเทียบในแต่ละคอลัมน์ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่เป็นการเปรียบเทียบในแนวนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศได้ผลดังตารางที่ 4.28 พบว่าเมื่อระดับ a_w สูงขึ้น ค่า IC_{50} จะมีค่ามากขึ้น แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่น้อยที่สุดคือ แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการปรับสมดุลที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.5 โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 29.50±0.09 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับ a_w 0.6-0.7 นั้นไม่มีการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งเสียสภาพกลายเป็นของเหลวหนืด



รูปที่ 4.17 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง water activity และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศหลังการทำซอร์ปชันไอโซเทอร์มที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.17 พบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการปรับสมดุลความชื้นที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.1 จะมีค่า IC_{50} ต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการปรับสมดุลที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแคปซูลที่ผ่านการปรับสมดุล

ที่ 10 องศาเซลเซียส แต่เมื่อระดับ a_w สูงขึ้นความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะลดลงโดยจะสังเกตเห็นได้ชัดที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.5 แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการปรับสมดุลที่ทุกระดับอุณหภูมิ ค่า IC_{50} จะเพิ่มขึ้น (ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-27 พบว่าระดับ a_w จะมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ 0.930 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งหมายถึงเมื่อระดับ a_w สูงขึ้น ค่า IC_{50} เพิ่มขึ้น (ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง) แต่เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงอุณหภูมิที่ศึกษามีความแตกต่างน้อย

การที่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีระดับ a_w สูงขึ้น เนื่องมาจากปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของสารสีบีตาเลนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในสารสกัดบีทรูทเข้มข้นนั้นต้องการน้ำเข้าไปร่วมในปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของสารสีบีตาเลน ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีน้ำอยู่ในปริมาณที่จำกัดหรือมีอยู่น้อย ก็จะทำให้สารสีมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าการลดลงของค่า a_w ยิ่งเป็นการลดอัตราการเสื่อมสลายของสารสี (Fennema, 2008) ซึ่ง Serris และ Biliaderis (2001) ได้ศึกษาความคงตัวของแคปซูลบีทรูทผงเมื่อเก็บรักษาที่ระดับ a_w ในช่วง 0.23-0.84 พบว่าสารบีตานินในบีทรูทจะเกิดการเสื่อมสลายเพิ่มขึ้นเมื่อระดับ a_w สูงขึ้น โดยจะเกิดการเสื่อมสลายมากที่สุดที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.64

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.29 ผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง						
a_w	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)			กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity: IC_{50}) (มิลลิกรัม/กรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง)		
	10 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	10 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส
0.1	$578.84^{aA}\pm20.71$	$589.35^{aA}\pm14.40$	$600.52^{aA}\pm9.08$	$17.77^{aC}\pm0.79$	$15.93^{aB}\pm0.64$	$14.71^{aA}\pm0.22$
0.2	$584.83^{aA}\pm20.39$	$603.22^{abA}\pm14.24$	$617.28^{aA}\pm21.04$	$20.00^{bB}\pm1.53$	$17.69^{bA}\pm0.54$	$17.13^{bA}\pm0.68$
0.3	$600.58^{abA}\pm 7.85$	$623.49^{bA}\pm20.74$	$606.25^{aA}\pm10.74$	$21.64^{cA}\pm0.35$	$21.01^{cA}\pm0.86$	$21.50^{cA}\pm2.18$
0.4	$598.37^{abA}\pm 9.36$	$629.06^{bB}\pm5.76$	$612.22^{aAB}\pm15.90$	$25.17^{dA}\pm0.33$	$25.40^{dA}\pm0.16$	$25.07^{dA}\pm0.96$
0.5	$620.47^{bA}\pm5.97$	$661.26^{cB}\pm9.54$	$666.20^{bB}\pm24.03$	$32.51^{eA}\pm0.76$	$31.80^{eA}\pm0.71$	$34.68^{eB}\pm1.53$

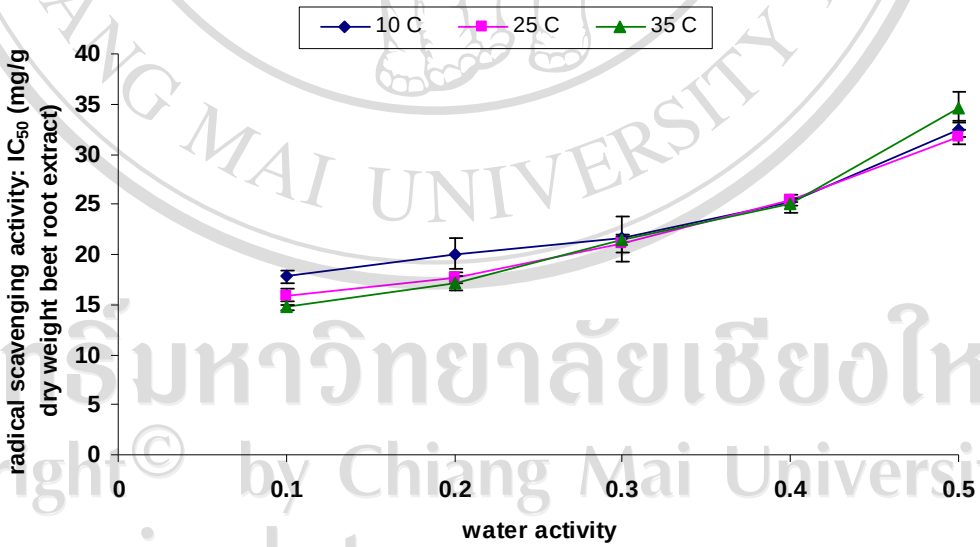
หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในตาราง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กเป็นการเปรียบเทียบในแต่ละคอลัมน์ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่เป็นการเปรียบเทียบในแนวนอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.29 แสดงผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และระดับ a_w เท่ากับ 0.5 แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่า IC_{50} สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 34.68 ± 1.53 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง แสดงให้เห็นว่ามี

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.1 ที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่า IC_{50} ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 14.71±0.22 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดบีทรูทฐานแห้ง ซึ่งหมายถึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อพิจารณาแนวโน้มของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระกับระดับ a_w จะพบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะลดลงเมื่อระดับ a_w สูงขึ้นเมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.1-0.2 จะพบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่า IC_{50} ต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า และเมื่อพิจารณาที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.3-0.4 พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.5 กลับพบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียสแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีค่า IC_{50} ต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับ a_w 0.6-0.7 นั้นไม่มีการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งเสียสภาพกลายเป็นของเหลวหนืด



รูปที่ 4.18 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง water activity และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งหลังการทำซอร์ปชันไอโซเทอร์มที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.18 พบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการปรับสมดุลความชื้นที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.1 จะมีค่า IC_{50} ต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการปรับสมดุลที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแคปซูลที่ผ่านการปรับสมดุลที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากแคปซูลที่ผ่านการปรับสมดุลที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นสูงกว่า แต่หากแคปซูลมีปริมาณความชื้นที่เท่ากัน การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำควรให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันจะพบว่าค่า IC_{50} จะมีค่ามากขึ้นเมื่อระดับ a_w สูงขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่า Pearson's correlation จากตาราง จ-28 จะพบว่าระดับ a_w จะมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าเท่ากับ 0.946 โดยแสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ซึ่งหมายถึง เมื่อระดับ a_w สูงขึ้น ค่า IC_{50} เพิ่มขึ้น (ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง) แต่เมื่อพิจารณาค่า Pearson's correlation สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะพบว่าที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.1 ณ ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (ตาราง ฉ-1 และ ฉ-2) ซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมสลายของสารสีบีตาเลนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารสีบีตาเลนจะเกิดการเสื่อมสลายก็ต่อเมื่อจะต้องมีน้ำเข้าร่วมในปฏิกิริยา ดังนั้นแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการปรับสมดุลที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความชื้นต่ำกว่าจึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.5 ณ ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส กลับพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งจากทั้งสองวิธีจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่น้อยที่สุด สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันโดยปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการปรับสมดุลที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะมีค่ามากกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 10 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง เมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำก็สูงขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าน้อยกว่า อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลทำให้สารสีบีตาเลนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในสารสกัดบีทรูทเข้มข้นนั้นเกิดการสลายตัวเนื่องจากเป็นรงควัตถุที่มีความไวต่อความร้อนซึ่งอัตราการเสื่อมสลายของสารสีนั้นจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นรวมถึงระยะในการได้รับความร้อน (Herbach *et al*., 2006)

และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็งจะพบว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยพิจารณาที่ค่า IC_{50} ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบโดยตู้อบสุญญากาศจะมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 11.36-29.50 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดจากบีทรูทฐานแห้ง ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งค่า IC_{50} จะอยู่ในช่วง 14.71-34.68 มิลลิกรัมต่อกรัมสารสกัดจากบีทรูทฐานแห้ง ซึ่งอาจเนื่องมาจากแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดรูพรุนเนื่องมาจากกระบวนการทำแห้ง ทำให้อากาศและความชื้นสามารถเข้าไปได้จึงส่งผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีน้อยกว่าแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ

ดังนั้นหากพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งทั้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งอาจสรุปได้ว่าควรเก็บรักษาแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ระดับอุณหภูมิ 25 หรือ 35 องศาเซลเซียสที่ระดับ a_w เท่ากับ 0.1 เนื่องจากมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด

หากต้องการยืดอายุการเก็บรักษาแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศควรเก็บรักษาแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในบรรจุภัณฑ์ที่ปราศจากออกซิเจนเนื่องจากออกซิเจนมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสารสีบีตาเลนโดยความคงตัวของสารสีจากบีทรูทลดลงเมื่อความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น (Herbach *et al*., 2006) หรืออาจเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุแก๊สไนโตรเจนเพื่อช่วยรักษาความคงตัวของสารสีจากบีทรูทซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved