บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาวัสดุห่อหุ้มและอุณหภูมิทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชันที่เหมาะสมในการผลิตข้าวขาวเคลือบสารห่อหุ้มสารสกัดจากใบเตย

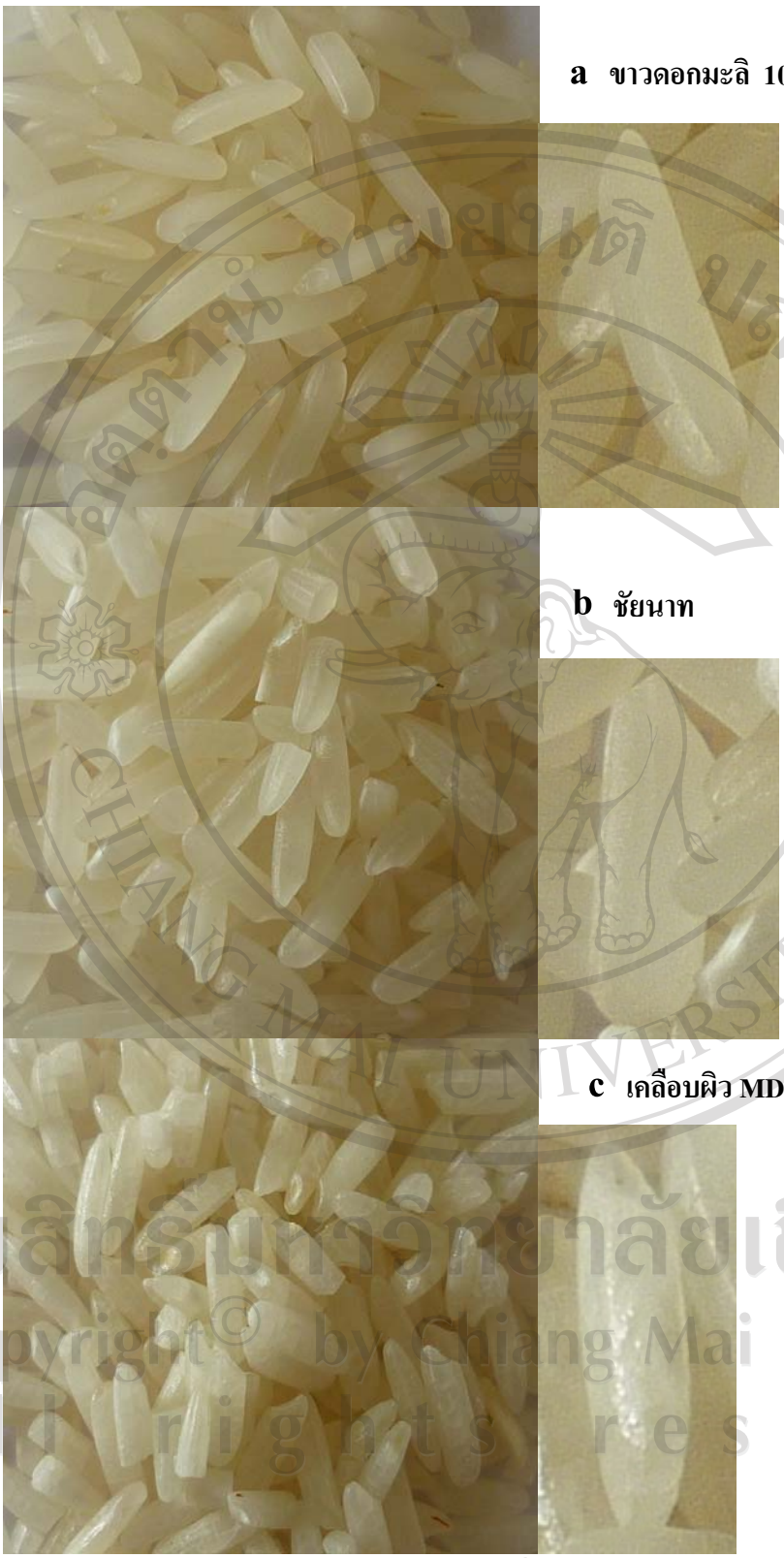
4.1.1 การผลิตข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม 4 ชนิด

หลังจากนำใบเตยสด 40 กรัม มากลั่นโดยชุดกลั่นด้วยไอน้ำจนได้สารสกัดจากใบเตยปริมาณ 150 มิลลิลิตร และนำสารสกัดที่ได้มาห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ สารผสมมอลโตเดกซ์ตรินและอคาเซียกัม (MD/AG) สารผสมเวย์โปรตีนไอโซเลทและอคาเซียกัม (W/AG) สารผสมเวย์โปรตีนไอโซเลทและมอลโตเดกซ์ตริน (W/MD) และสารห่อหุ้มชนิดสุดท้ายคือสารผสมแป้งข้าวและซอร์บิทอล (RS/SB) โดยมีความชื้นเริ่มต้นที่เท่ากัน และสารห่อหุ้มดังกล่าวมีค่าความหนืด 19.8×10^{-3}, 15.5×10^{-3}, 8.6×10^{-3} และ 140.0×10^{-3} Pa·s ตามลำดับ นำสารผสมดังกล่าวมาเคลือบบนข้าวขาวชัยนาทโดยใช้หัวฉีดละอองฝอยร่วมกับปั๊มลมแรงดันสูง และทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 45 65 และ 85°C และความเร็วลม 3.65 เมตรต่อวินาที ซึ่งข้าวที่ใช้สารห่อหุ้มแต่ละชนิดและทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งแตกต่างกัน คือ ข้าวที่ทำให้แห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 45°C จะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งมากกว่าที่ 65 และ 85°C ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบภายใต้การใช้วัสดุห่อหุ้มชนิดเดียวกัน โดยจะสังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิทำแห้งสูงขึ้นเวลาในการทำให้แห้งจะต่ำลงทั้งนี้เป็นเพราะที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการระเหยที่สูงกว่าที่อุณหภูมิทำแห้งต่ำๆ หากพิจารณาผลของวัสดุที่ใช้การห่อหุ้มต่อระยะเวลาในการทำให้แห้งพบว่าที่อุณหภูมิทำแห้ง 45°C จะใช้ระยะเวลาการทำแห้งที่เท่ากันคือ 30 นาทีสำหรับวัสดุห่อหุ้มทุกชนิด แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งมากขึ้นวัสดุห่อหุ้ม RS/SB จะใช้เวลาในการทำให้แห้งมากที่สุดรองลงมาคือ MD/AG โดยที่วัสดุห่อหุ้ม W/AG และ W/MD นั้นจะใช้ระยะเวลาในการทำให้แห้งที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความหนืดเริ่มต้นของสารละลาย โดย RS/SB เป็นสารละลายที่มีค่าความหนืดสูงที่สุดทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถระเหยออกมาได้ยากกว่าวัสดุห่อหุ้มชนิดอื่น ทั้งนี้ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ระยะเวลาในการทำให้แห้งแตกต่างกันเพื่อจะควบคุมปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีค่าร้อยละความชื้นที่ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 6.8-9.9% (ฐานเปียก) เนื่องจากความชื้นของข้าวสารโดยทั่วไปควรเกิน 14% (ฐานเปียก) (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546) จากนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวขาวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม 4 ชนิด (MD/AG, RS/SB, W/AG, W/MD) (ภาพที่ 4.19 c) แสดงลักษณะของเมล็ดข้าวที่ผ่านการเคลือบด้วยวัสดุห่อหุ้ม MD/AG ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ 45°C นาน 30 นาที เปรียบเทียบกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ภาพที่ 4.19 a) และข้าวขาวชัยนาทที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเคลือบผิว (ภาพที่ 4.19 b) จะเห็นได้ว่าเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบจะมีรอยร้าวที่ผิว บางเมล็ดแตกหักออกจากกันทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากเมล็ดข้าวที่ผ่านการเคลือบผิวสัมผัสกับลมร้อนในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดเป็นระยะเวลานาน และเมล็ดข้าวกระแทกกันตลอดเวลาจึงทำให้เกิดรอยร้าวได้ หรืออาจเกิดเนื่องจากการสัมผัสกับลมร้อนโดยตรง ซึ่งทำให้เกิดการลดความชื้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดอัตราการระเหยความชื้นจากผิวเมล็ดสู่อากาศ เร็วกว่าอัตราการแพร่กระจายความชื้นจากภายในสู่ผิวของเมล็ดข้าว ทำให้ผิวนอกของเมล็ดข้าวมีความแห้งมากและเกิดการหดตัวจึงเกิดความเค้น (stress) ทำให้เกิดรอยร้าวแตกหักได้ (เชิงชาย, 2552) ซึ่งแตกต่างจากเมล็ดข้าวที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบโดยเมล็ดข้าวจะมีสีขาวใส ลักษณะผิวเรียบไม่มีรอยแตกร้าว เมล็ดเรียวยาวไม่แตกหักออกจากกัน โดยข้าวที่เคลือบผิวด้วย MD/AG และ W/AG จะมีสีออกเหลือง ผิวเลื่อมมัน เมล็ดข้าวร่วนไม่เกาะติดกัน เนื่องมาจากสีของสารละลายอคาเซียกัมที่มีสีน้ำตาลเข้ม โดยข้าวที่ใช้ MD/AG เป็นวัสดุห่อหุ้มจะมีสีเข้มและเลื่อมมันมากกว่าข้าวที่ใช้ W/AG เพราะมีองค์ประกอบของอคาเซียกัมในสารละลายมากกว่า สำหรับข้าวที่เคลือบด้วยวัสดุห่อหุ้ม W/MD จะสีขาวออกเหลืองแต่เหลืองน้อยกว่าข้าวที่ใช้ MD/AG และ W/AG เป็นวัสดุห่อหุ้ม เมล็ดข้าวร่วนไม่เกาะตัวติดกัน ทั้งนี้เพราะสารละลาย W/AG มีสีเหลืองอ่อนอันเนื่องมาจากสีของสารละลายเวย์โปรตีนไอโซเลทที่มีสีออกเหลือง และสำหรับข้าวที่เคลือบด้วยวัสดุห่อหุ้ม RS/SB พบว่าจะมีสีขาวโดยมีลักษณะของเมล็ดข้าวที่ค่อนข้างเกาะตัวกัน มีความเหนียวอันเนื่องมาจากการใช้เจลจากแป้งข้าว และซอร์บิทอลเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการทำวัสดุห่อหุ้ม และหากพิจารณาอุณหภูมิในการทำแห้งจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลทำให้ลักษณะของเมล็ดข้าวหรือสีที่สังเกตด้วยตามีความแตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



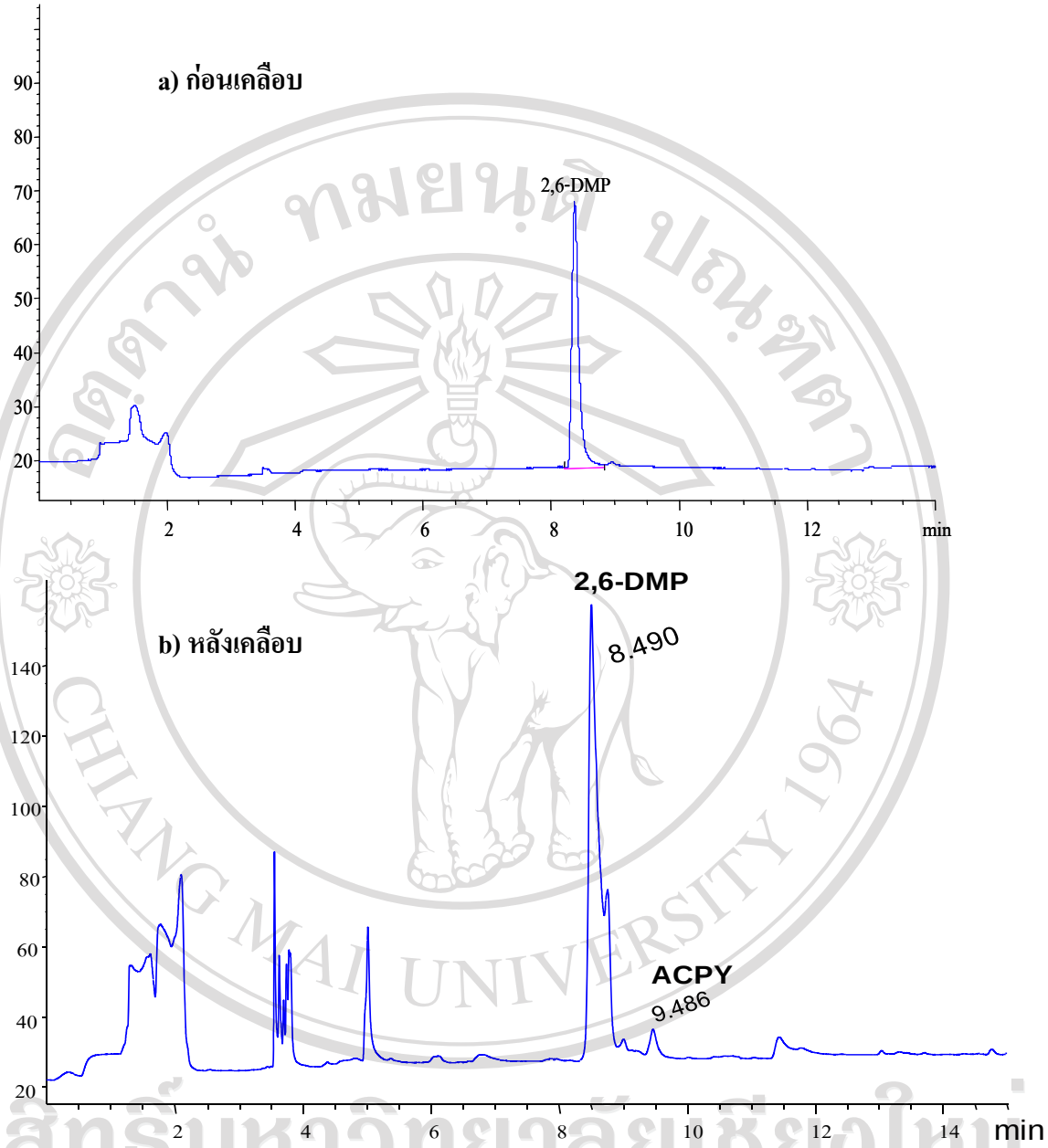
ภาพ 4.19 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (a) ข้าวชัยนาทที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเคลือบผิว (b) และข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม MD/AG ที่อุณหภูมิทำแห้ง 45°C (c)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 การตรวจวัดปริมาณสารหอมที่เคลือบอยู่บนข้าว

หลังจากนำข้าวขาวชัยนาทมาผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตย ที่ถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้ง 4 ชนิดที่อุณหภูมิการทำแห้งทั้ง 3 ระดับแล้วจึงนำข้าวดังกล่าวมาวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสาร ACPY โดยทำการวัดด้วยเครื่อง Automated Headspace Gas Chromatography with Nitrogen-Phosphorus detector (HS-GC-NPD) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์จาก Tulyathan *et al.* (2007) และคำนวณความเข้มข้นของสาร ACPY โดยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟโครมาโทแกรมของสาร ACPY/2,6-DMP เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของ Tulyathan *et al.* (2007) จากการทดลองพบว่าข้าวชัยนาทที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเคลือบผิว (ภาพที่ 4.20 a) จะแสดงแต่เส้นกราฟของสารมาตรฐานภายใน แต่ข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารห่อหุ้มสารสกัดจากใบเตยจะพบโครมาโทแกรมจะแสดงเส้นกราฟของ ACPY และ สารมาตรฐานภายใน (2,6-DMP) ทั้งนี้เนื่องมาจากการเคลือบข้าวด้วยสารสกัดจากใบเตยที่มีองค์ประกอบของสาร ACPY เป็นหลัก โดยกราฟโครมาโทแกรมของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วย MD/AG และทำแห้งที่อุณหภูมิ 45°C แสดงดังภาพที่ 4.20 b) โดยมี retention time ของ สาร 2,6-ไดเมทิลไพริดีน (2,6-DMP) ที่ใช้เป็นสารมาตรฐานภายใน (internal standard) และสาร ACPY ที่ 8.490 และ 9.486 นาที ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.20 โครมาโทแกรมสารประกอบ ACPY และ 2,6-DMP ของ a) ข้าวชัยนาทที่ไม่การเคลือบผิว และ b) ข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วย MD/AG และทำแห้งที่อุณหภูมิ 45°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 ผลของอุณหภูมิการทำแห้งและวัสดุห่อหุ้มที่มีต่อปริมาณสาร ACPY

จากการทดลองเมื่อนำอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟระหว่างสาร ACPY และ 2,6-DMP ของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารห่อหุ้มทั้ง 4 ชนิด และที่อุณหภูมิการทำแห้งทั้ง 3 ระดับมาเปรียบเทียบกัน โดยสังเกตได้จากกราฟโครมาโทแกรมดังภาพที่ 4.21 พบว่าที่อุณหภูมิของการทำแห้งคงที่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิด MD/AG สามารถเก็บกักสาร ACPY ได้มากที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีขนาดพื้นที่ใต้กราฟโครมาโทแกรมของสาร ACPY มากที่สุดรองลงมาคือสารห่อหุ้มชนิด W/AG, W/MD และ RS/SB ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงผลของวัสดุห่อหุ้มที่มีต่อปริมาณสาร ACPY (ภาพที่ 4.22 a) โดยแสดงปริมาณสารในรูปแบบของสัดส่วนระหว่างสาร ACPY ต่อ สารมาตรฐานภายใน (2,6-DMP) ซึ่งจะเห็นได้เช่นเดียวกันคือ ข้าวที่เคลือบสารห่อหุ้มชนิด MD/AG จะให้ปริมาณสาร ACPY มากที่สุดรองลงมาคือ W/AG, W/MD และ RS/SB ตามลำดับ (ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร ACPY ที่อุณหภูมิต่างๆ และวัสดุห่อหุ้มแบบต่างๆแสดงในภาคผนวก ง.1) ทั้งนี้เป็นเพราะมอลโตเดกซ์ตรินและอคาเซียกัมต่างก็เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมอลโต-เดกซ์ตรินมีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการก่อตัวเป็นฟิล์มที่ดี ร่วมกับการใช้อคาเซียกัมที่มีคุณสมบัติทั้งความสามารถในการก่อตัวเป็นฟิล์มและการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) (Madene *et al.,* 2006) อีกทั้งสารห่อหุ้มทั้งสองชนิดต่างก็มีโครงสร้างของโมเลกุลที่มีขั้วจึงสามารถจับตัวกับสารประกอบ ACPY ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารที่มีขั้วเช่นเดียวกันได้ดี และเมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มจึงสามารถตรึงสารประกอบ ACPY ได้ดี สำหรับสารห่อหุ้มชนิด W/AG และ W/MD เป็นการนำเวย์โปรตีนไอโซเลทที่มีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และการก่อเป็นฟิล์มมาใช้ร่วมกับอคาเซียกัม และมอลโตเดกซ์ตรินซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเมทริกซ์ (matrix) ของการทำเอนแคปซูลเลชัน (Sheu and Rosenberg, 1998) แต่เมื่อนำสารผสมของสารห่อหุ้มทั้งสองชนิดดังกล่าวมาทำการห่อหุ้มสารสกัดจากใบเตยพบว่าสามารถให้การเก็บกักปริมาณสาร ACPY ได้น้อยกว่าสารห่อหุ้มชนิด MD/AG ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารห่อหุ้มทั้งสองดังกล่าวมีสัดส่วนของเวย์โปรตีนไอโซเลทเป็นหลักซึ่งเวย์โปรตีนไอโซเลทเป็นโปรตีนที่เป็นแหล่งของ บรานชด์-เชน-อะมิโน-เอซิด (Branched Chain Amino Acids, BCAA) ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็น 3 ตัวคือ Leucine, Isoleucine และ Valine (EAS sports Nutrition review, 2004) ซึ่งจัดเป็นกลุ่มกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเป็นสายไฮโดรคาร์บอน (aliphatic side chain) ลักษณะพิเศษของหมู่ข้างกลุ่มนี้ คือ ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) และมักจะเกิดปฏิกิริยากับหมู่เดียวกันเองหรือพวกที่ไม่ชอบน้ำ (สมปอง, 2550) จึงสามารถจับกับสารสกัดจากใบเตยที่เป็นสารประกอบที่มีขั้วได้น้อยลง ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการเก็บกักกลิ่นของสารห่อหุ้ม W/AG และ W/MD มีน้อยกว่าสารห่อหุ้ม MD/AG

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเมื่อพิจารณาสารห่อหุ้มชนิด RS/SB ซึ่งเป็นสารห่อหุ้มที่ได้จากการนำข้าวขาวมาทำการบดร่อนและทำให้เกิดเป็นเจลก่อน แล้วจึงนำมาผสมกับซอร์บิทอลเพื่อนำมาห่อหุ้มสารหอม ซึ่งเจลจากข้าวขาวชัยนาท ซึ่งมีลักษณะเป็นเมทริกซ์ที่ยึดอยู่ด้วยพันธะไฮโดรเจนจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของอมิโลสขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) มาเป็นส่วนที่จัดเรียงตัวเป็นระเบียบ (crystallite) ร่วมกับการใช้ซอร์บิทอลที่มีคุณสมบัติในการเป็นพลาสติไซเซอร์ (plasticizer) (น้องนุช และดุษฎี, ไม่ระบุปีที่ตีพิมพ์) และเนื่องจากวัสดุห่อหุ้ม RS/SB มีลักษณะที่เป็นเจลเมื่อผ่านกระบวนการทำให้แห้งจึงทำให้มีรอยร้าวเกิดขึ้นและสามารถเก็บกักสาร ACPY ได้น้อยวัสดุห่อหุ้มชนิดอื่นๆ (MD/AG, W/AG, W/MD) ที่ให้คุณลักษณะการห่อหุ้มที่เป็นฟิล์ม

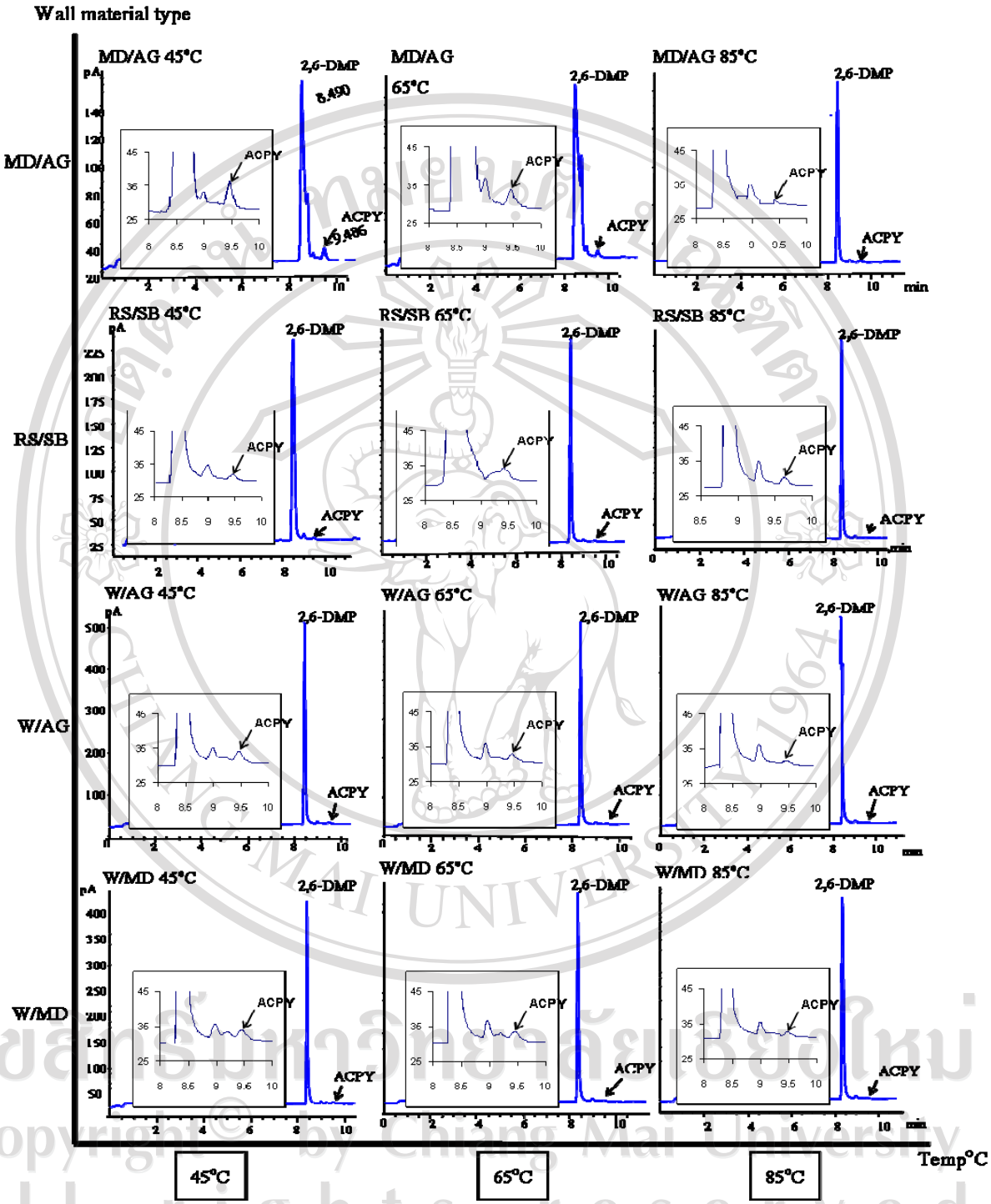
เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการทำแห้ง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิดเดียวกันพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณสาร ACPY แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากภาพที่ 4.22 b) จะเห็นได้ว่าที่ระดับอุณหภูมิการทำแห้ง 45°C จะพบสาร ACPY ในผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่ 65 และ 85°C ตามลำดับ (เมื่อเปรียบเทียบข้าวที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิด MD/AG, W/MD และ W/AG) ทั้งนี้เป็นเพราะสารประกอบ ACPY เป็นสารประกอบที่ไวต่ออุณหภูมิ เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงในการทำแห้งสาร ACPY จึงเหลืออยู่น้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Wongpornchai *et al.* (2004) ที่พบว่าข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีปริมาณสารหอม ACPY เหลืออยู่น้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าสำหรับข้าวเคลือบสารสกัดที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิด RS/SB ผลการทดลองที่ได้จะมีแนวโน้มต่างไปจากวัสดุห่อหุ้มชนิดอื่นๆ (ภาพที่ 4.22 a) กล่าวคือ อุณหภูมิการทำแห้ง 65°C RS/SB จะมีความสามารถในการกักเก็บสาร ACPY ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ 45°C และ 85°C ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากอิทธิพลของความหนืดของสารผสมที่มีค่าความหนืดสูง เมื่อนำมาเคลือบลงบนข้าวที่อุณหภูมิทำแห้งต่ำ (45°C) สารห่อหุ้มจะมีค่าความหนืดที่สูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 85°C ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อทำการฉีดพ่นลงบนข้าว สารห่อหุ้มที่มีความหนืดมากจะให้ขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และไม่คงตัว จึงไม่สามารถเชื่อมติดกันบนผิวข้าวได้ส่งผลทำให้เกิดช่องว่าง จึงทำให้เก็บกักสาร ACPY ได้น้อย Liu *et al.* (2001) และ Drusch (2006) กล่าวว่าขนาดอนุภาคของสารห่อหุ้มที่ต้องการทำเอนแคปซูลเลชัน ควรมีขนาดเล็กและมีความหนืดที่เหมาะสมในการป้องกันการรวมตัวกับอากาศ หากสารห่อหุ้มมีความหนืดมากจะทำให้เกิดการฉีดพ่นลำบาก และทำให้มีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำแห้งได้ และหากเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งให้มากขึ้นถึง 65°C จะทำให้สารห่อหุ้มมีค่าความหนืดที่ลดลงเมื่อถูกฉีดพ่นลงบนเมล็ดข้าวจึงทำให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างสารห่อหุ้มบนผิวเมล็ดข้าว มีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ครอบคลุมทั่วถึง จึงทำให้เก็บกักสาร ACPY ได้สูงที่สุด แต่หากเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งให้สูงขึ้นอีก (85°C) สารห่อหุ้มจะมีค่าความหนืดน้อยที่สุด โดยสามารถเชื่อมต่อกันบนเมล็ดข้าวได้ดีและครอบคลุมแต่จะได้ฟิล์มที่เคลือบอยู่บนข้าวที่บางกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 65°C จึงสามารถเก็บกักสาร ACPY ได้น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุห่อหุ้ม MD/AG ที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้มีสาร ACPY เหลืออยู่มากที่สุด

เมื่อนำค่าของพื้นที่ใต้กราฟของสาร ACPY ที่ใช้ MD/AG เป็นสารห่อหุ้ม ร่วมกับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มาทำการคำนวณค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของ Sriseadka *et al.* (2006) พบว่าความเข้มข้นของ ACPY มีค่าเท่ากับ 324.35 ppb ซึ่งจะเห็นว่ามีปริมาณสารหอมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Laohakunjit and Kerdchoechuen (2007) ที่ทำการเคลือบข้าวด้วยสารสกัดธรรมชาติจากใบเตยลงบนข้าวสายพันธุ์ RD 23 พบว่ามีปริมาณ ACPY เพียง 216.12 ppb และพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของสาร ACPY ใกล้เคียงกับข้าวสายพันธุ์หอม KDML ที่มีค่าเท่ากับ 324.45 ppb

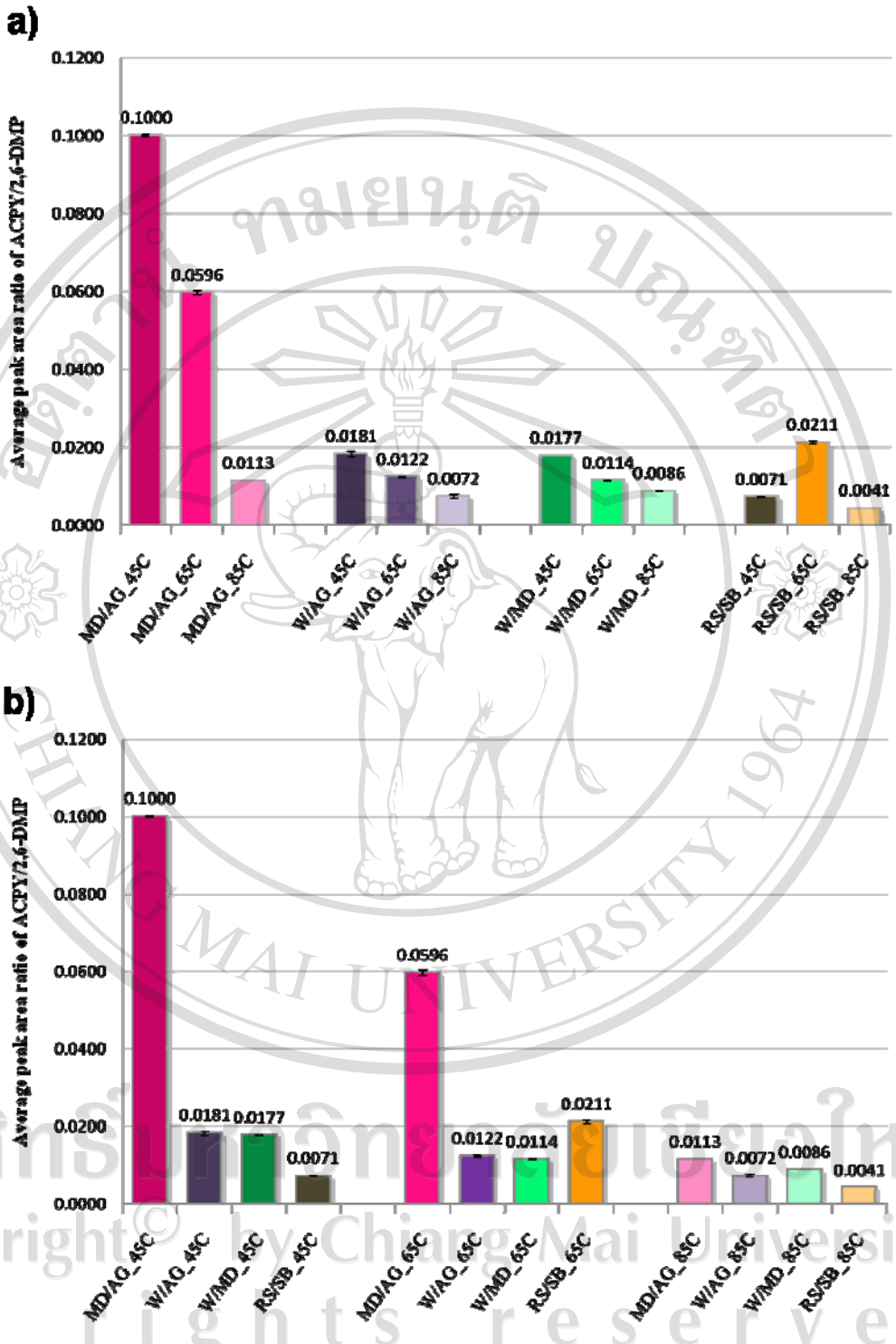
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.21 HS-GC-NPD โครมาโทแกรมของสาร ACPY และ 2,6-DMP ของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม 4 ชนิด ที่อุณหภูมิการทำแห้ง 3 ระดับ

เมื่อ MD/AG = maltodextrin/acacia gum, RS/SB = rice starch/sorbitol, W/AG = whey protein isolate/acacia gum, W/MD = whey protein isolate/maltodextrin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.22 a) ผลของวัสดุห่อหุ้ม และ b) อุณหภูมิการทำแห้งที่มีต่อปริมาณสาร 2-Acetyl-1-pyrroline (ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนพื้นที่ใต้โครมาโทแกรมของ ACPY/2,6-DMP)

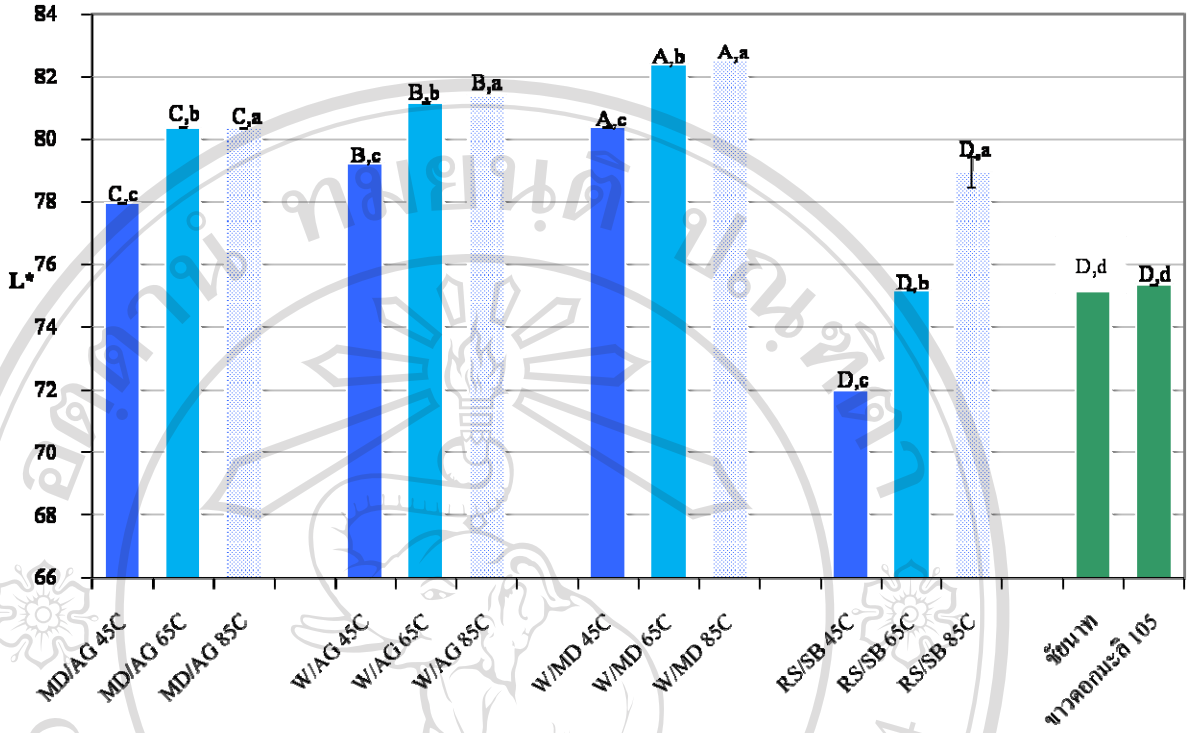
เมื่อ MD/AG = maltodextrin/acacia gum, RS/SB = rice starch/sorbitol, W/AG = whey protein isolate/acacia gum, W/MD = whey protein isolate/maltodextrin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.4 สมบัติด้านสีของข้าวเคลือบสารห่อหุ้มสารสกัดจากใบเตย

จากการนำข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้งสี่ชนิด และทำแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับมาวัดค่าสี L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งมากขึ้นส่งผลให้ข้าวเคลือบสารสกัดมีค่า L* (ค่าความสว่าง) เพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าข้าวขาวชัยนาทที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวดังภาพที่ 4.23 ทั้งนี้เนื่องจากข้าวที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง (85°C) ข้าวจะสัมผัสกับลมร้อนภายในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้องค์ประกอบภายในของเมล็ดข้าวเปลี่ยนสภาพไปเกิดกระบวนการเจลาทิไนเซชันอย่างสมบูรณ์ และเกิดกระบวนการรีโทรแกรเดชัน (retrogradation) ของเม็ดแป้ง โดยจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอมิโลสอย่างเป็นระเบียบ (ผลึก) ซึ่งเมื่อนำไปวัดค่าความสว่างจึงทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น (อรอนงค์, 2547) และเมื่อพิจารณาการทำแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 45°C จะพบว่าข้าวสัมผัสกับความร้อนที่น้อยกว่า จึงเกิดกระบวนการเจลาทิไนเซชันและรีโทรแกรเดชันที่น้อยกว่าส่งผลให้มีค่าความสว่างของข้าวที่น้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง และเมื่อพิจารณาผลของวัสดุห่อหุ้มพบว่าข้าวเคลือบที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิดเดียวกันจะมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเคลือบที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิด RS/SB จะมีค่าความสว่างไม่แตกต่างจากข้าวชุดควบคุมทั้งสอง ทั้งนี้เพราะวัสดุห่อหุ้มชนิด RS/SB มีองค์ประกอบหลักคือข้าวขาวชัยนาทนำมาบดและร่อนจึงไม่ส่งผลให้มีค่าความสว่างต่างจากชุดควบคุม แต่เมื่อใช้วัสดุห่อหุ้ม MD/AG, W/AG และ W/MD พบว่ามีค่าความสว่างแตกต่างจากข้าวชุดควบคุมและข้าวเคลือบที่ใช้วัสดุ RS/SB ซึ่งข้าวที่ใช้วัสดุห่อหุ้ม W/MD จะมีค่าความสว่างมากที่สุด รองลงมาคือ W/AG, MD/AG และ RS/SB ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.23 ค่าความสว่างของข้าวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้ง 4 ชนิด และทำแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับเปรียบเทียบกับข้าวชุดควบคุม ข้าวขาวชัยนาทที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว และข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML)

เมื่อ MD/AG = maltodextrin/acacia gum, RS/SB = rice starch/sorbitol, W/AG = whey protein isolate/acacia gum, W/MD = whey protein isolate/maltodextrin

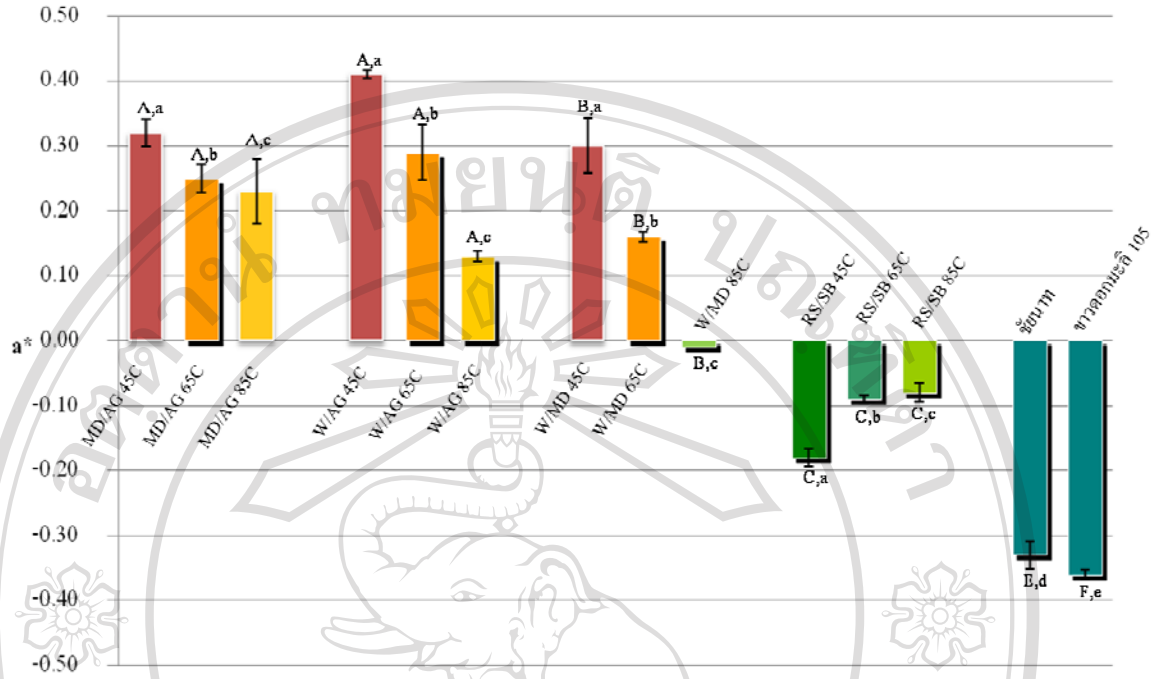
หมายเหตุ : อักษรตัวพิมพ์ใหญ่กำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้วัสดุห่อหุ้มต่างชนิดกัน

อักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่ต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 4.24 พิจารณาค่า a* หรือค่าความเป็นสีแดง (ค่า a* เป็นบวก) และสีเขียว (ค่า a* เป็นลบ) ของข้าวซึ่งเมื่อพิจารณาตามชนิดของวัสดุห่อหุ้มที่ใช้จะเห็นได้ว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบจะให้ค่า a* แตกต่างจากชุดควบคุมทั้งสอง โดยข้าวที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิดเดียวกันจะมีค่าสี a* ไม่แตกต่าง ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาชนิดของวัสดุห่อหุ้มที่ใช้จะเห็นได้ว่าข้าวชุดควบคุมและข้าวที่ใช้วัสดุห่อหุ้มชนิด RS/SB จะมีค่า a* เป็นค่าลบทั้งนี้ก็เนื่องจากวัสดุ RS/SB ทำมาจากข้าวขาวบดและร่อนซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกับข้าวชุดควบคุม (ข้าวชัยนาท) จึงทำให้มีค่าสี a* เหมือนข้าวชุดควบคุมคือมีค่า a* เป็นค่าลบ แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าถึงแม้ข้าวที่ใช้วัสดุ RS/SB จะมีสี a* เป็นค่าลบแต่ปริมาณความเข้มของสี a* ก็มีความแตกต่างจากชุดควบคุมคือมีค่า a* เป็นลบที่น้อยกว่า ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาข้าวที่เคลือบด้วยวัสดุห่อหุ้มชนิด MD/AG, W/AG และ W/MD พบว่าจะมีค่าสี a* เป็นค่าบวก โดยจะพบว่ามีค่าสี a* มากที่สุดในข้าวที่ใช้วัสดุ MD/AG และ W/AG ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้อคาเซียกัมเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาลเข้ม ทำให้เวลานำมาใช้เคลือบผิวข้าวจะทำให้ข้าวที่ผ่านการเคลือบผิวมีค่าสี a* เป็นบวกมากที่สุด สำหรับข้าวที่ใช้วัสดุ W/MD พบว่าจะค่าสี a* เป็นบวกเช่นเดียวกัน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องมาจากการใช้เวย์โปรตีนไอโซเลทมาเป็นส่วนผสมหนึ่งซึ่งเป็นสารประกอบโปรตีน และจากการใช้มอลโตเดกซ์-ตรินที่เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตซึ่งเมื่อสัมผัสกับลมร้อนจากฟลูอิดไดซ์เบด จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และจากภาพที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าค่าสี +a* ของข้าวที่ผ่านการเคลือบจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มมากขึ้น และมีค่าสี -a* ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสำหรับวัสดุห่อหุ้มชนิด RS/SB ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.24 ค่า a* แสดงค่าสีแดงของข้าวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้ง 4 ชนิด และทำแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับเปรียบเทียบกับข้าวชุดควบคุม ข้าวขาวชัยนาทที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว และข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML)

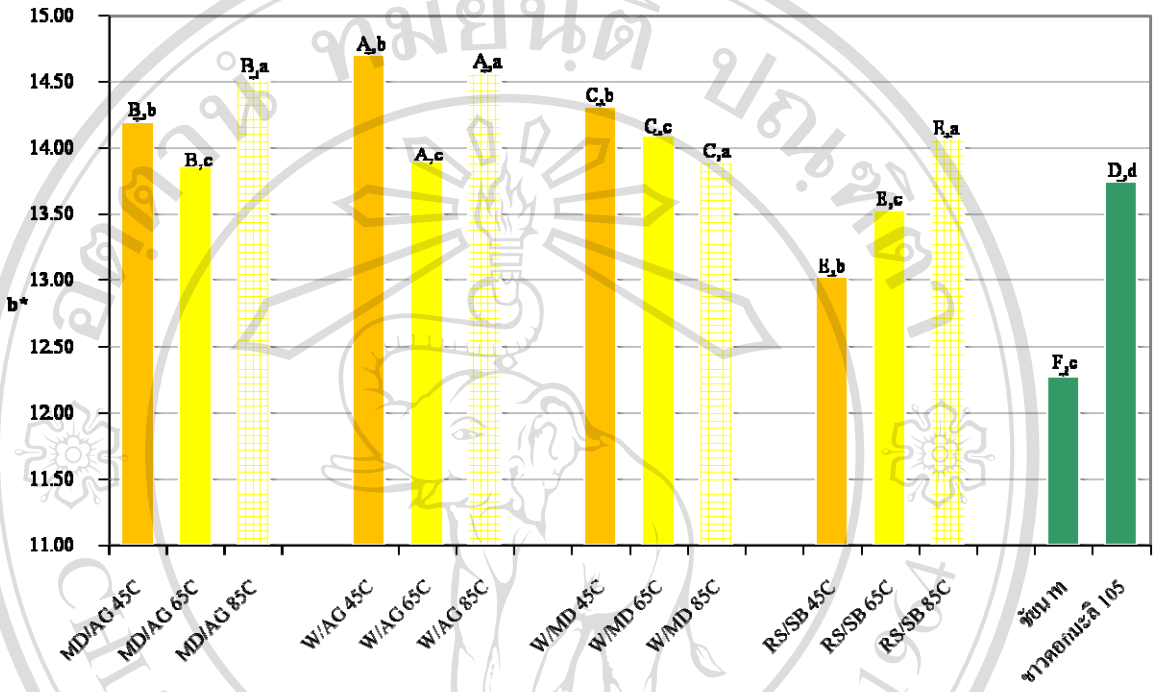
เมื่อ MD/AG = maltodextrin/acacia gum, RS/SB = rice starch/sorbitol, W/AG = whey protein isolate/acacia gum, W/MD = whey protein isolate/maltodextrin

หมายเหตุ : อักษรตัวพิมพ์ใหญ่กำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้วัสดุห่อหุ้มต่างชนิดกัน
อักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่ต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง b* แสดงดังภาพที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวทุกชนิดมีค่าความเป็นสีเหลืองแตกต่างกับข้าวชุดควบคุม ($p \leq 0.05$) คือมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการเคลือบผิวทุกวัสดุห่อหุ้ม เปรียบเทียบกับข้าวมาตรฐานทั้งสองชนิด ทั้งนี้เนื่องจากสีของวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มทั้งสีน้ำตาลของมอลโตเดกซ์ตริน สีเหลืองของเวย์-โปรตีน และสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเมลลาร์ดของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบ

ของสารห่อหุ้มเมื่อสัมผัสกับความร้อนในขณะทำแห้งด้วยฟลูอิดไดซ์เบด จึงส่งผลให้ข้าวที่เคลือบผิวมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น



ภาพ 4.25 ค่า b* แสดงค่าสีเหลืองของข้าวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้ง 4 ชนิด และทำแห้งที่อุณหภูมิ 3 ระดับเปรียบเทียบกับข้าวชุดควบคุม ข้าวขาวชัยนาทที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว และข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML)

เมื่อ MD/AG = maltodextrin/acacia gum, RS/SB = rice starch/sorbitol, W/AG = whey protein isolate/acacia gum, W/MD = whey protein isolate/maltodextrin

หมายเหตุ : อักษรตัวพิมพ์ใหญ่กำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้วัสดุห่อหุ้มต่างชนิดกัน

อักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่ต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.5 สมบัติเชิงความหนืดของข้าวขาวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้ม

ในงานวิจัยนี้การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของข้าวที่เกิดจากกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตย จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว RVA โดยจะบันทึกค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างข้าวขาวชัยนาทที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวและทำแห้ง กับข้าวขาวชัยนาทที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยวัสดุทั้ง 4 ชนิด พบว่ากระบวนการเคลือบและทำแห้งมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ข้าวขาวเคลือบผิวที่ได้ โดยจะทำให้ข้าวที่ผ่านการเคลือบทุกวัสดุห่อหุ้มและทุกอุณหภูมิการทำแห้ง มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชันที่สูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวประมาณ 2-7^{o}C สังเกตได้จากค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature) ของข้าวที่ผ่านการเคลือบผิวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 82-89^{o}C โดยข้าวชัยนาทที่ไม่ผ่านการเคลือบมีค่าเท่ากับ 80^{o}C ซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืดเป็นตัวชี้บ่งถึงอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดกระบวนการเจลาทิไนเซชันของเม็ดแป้ง ทั้งนี้มีสาเหตุจากการผ่านกระบวนการทำแห้งของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย ซึ่งจะทำให้เม็ดแป้งบางส่วนเกิดเจลาทิไนเซชันและรีโทรแกรเดชันอย่างสมบูรณ์เกิดการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ของอมิโลสเป็นผลึก ซึ่งจะขัดขวางการดูดน้ำของเม็ดแป้งอื่นๆที่ยังไม่เกิดกระบวนการเจลาทิไนเซชัน ส่งผลให้เม็ดแป้งดังกล่าวเกิดการพองตัวได้ช้าลงจึงทำให้มีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชันที่สูงขึ้น (อรอนงค์, 2547) ซึ่งจะมีแนวโน้มการเพิ่มอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชันมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด (peak 1) ค่าความหนืดลดลง (break down) ค่าความคงทนต่อการกวน (Holding strength) ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดลดลง (set back) และค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยพบว่ามีค่าลดลงในทุกๆค่าดังที่กล่าวมา โดยข้าวที่เคลือบจะมีค่าความหนืดสูงสุด (peak 1) อยู่ในช่วง 1339-1833 เซนติพอยส์ และในข้าวชัยนาทที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบมีค่าเท่ากับ 3016 เซนติพอยส์ ค่าความหนืดที่ลดลง (break down) ของข้าวเคลือบมีค่าอยู่ในช่วง 110-324 เซนติพอยส์ และข้าวชัยนาทที่ไม่เคลือบมีค่าเท่ากับ 996 เซนติพอยส์ สำหรับค่าความคงทนต่อการกวน (Holding strength) ข้าวที่เคลือบมีค่าอยู่ในช่วง 1223-1644 เซนติพอยส์และข้าวชัยนาทที่ไม่เคลือบมีค่าเท่ากับ 2020 เซนติพอยส์ ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดลดลง (set back) ของข้าวเคลือบมีค่าอยู่ในช่วง 605-949 เซนติพอยส์ และข้าวชัยนาทที่ไม่เคลือบมีค่าเท่ากับ 1109 เซนติพอยส์ และค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ของข้าวเคลือบจะมีค่าอยู่ในช่วง 1944-2462 เซนติพอยส์ และข้าวชัยนาทที่ไม่เคลือบมีค่าเท่ากับ 4125 เซนติพอยส์ ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากภาพที่ 4.26 ว่าทุกเส้นกราฟของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบและทำแห้งทุก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

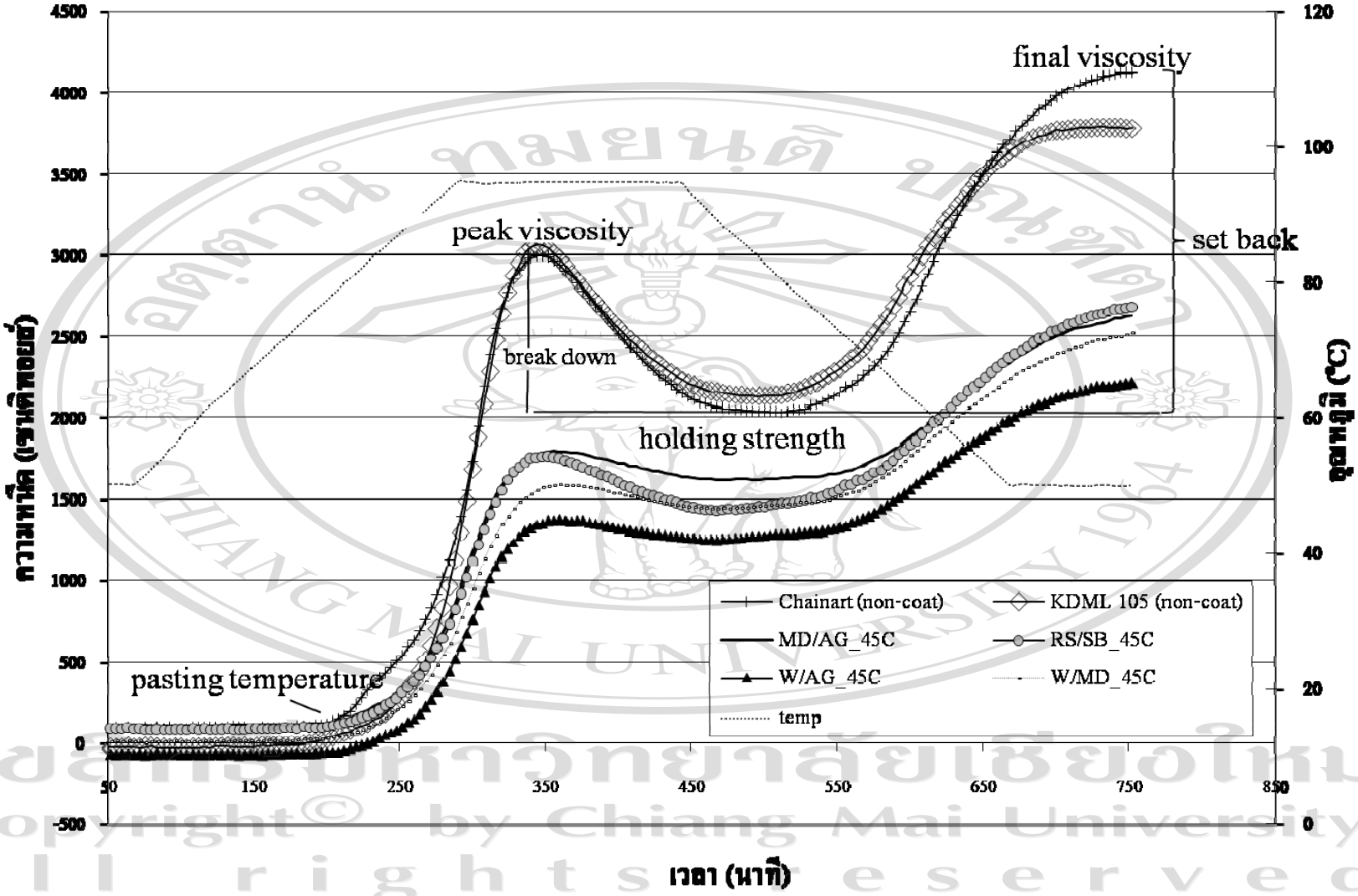
วิธีการจะได้ผลจากการวิเคราะห์โดยเครื่อง RVA ที่ต่ำกว่าข้าวชุดควบคุม (ข้าวชัยนาทที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเคลือบและข้าวขาวดอกมะลิ 105) ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของวัสดุห่อหุ้มที่ผสมอยู่ร่วมกับเม็ดแป้ง โดยสารห่อหุ้มที่ใช้ได้แก่ มอลโตเดกซ์ตริน อคาเซียกัม และเวย์โปรตีนไอโซเลท ต่างก็มีคุณสมบัติในด้านมีค่าความหนืดที่ต่ำ โดยจะมีค่าความหนืดของสารละลายที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น (Madene *et al*., 2006) ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA โดยเพิ่มอุณหภูมิการวิเคราะห์ให้สูงขึ้น จึงทำให้สารละลายแป้งที่ศึกษามีความหนืดที่ลดลงดังภาพ จากผลการทดลองยังสามารถสรุปได้อีกว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบจะใช้เวลาในการหุงสุกที่น้อยกว่าข้าวทั่วไป (ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเคลือบและทำให้แห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดแป้งบางส่วนของเมล็ดข้าวเกิดเจลาทิไนซ์ชันอย่างสมบูรณ์แล้ว ซึ่งจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการทำให้สุกน้อยลง หรืออีกนัยหนึ่งคือ ใช้ระยะเวลาในการทำให้ข้าวเกิดเจลาทิไนซ์เซชันของเม็ดแป้งทั้งหมดในเมล็ดข้าวน้อยลง จากเดิมที่เมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบเม็ดแป้งซึ่งไม่ได้เกิดเจลาทิไนซ์เซชัน ดังนั้นจึงส่งผลให้ข้าวที่ผ่านการเคลือบใช้เวลาในการหุงสุกน้อยกว่า (สุธยา, 2549) กล่าวถึงการทำให้ข้าวหุงสุกไวไว้ว่าสามารถทำได้โดยการเพิ่มความชื้นให้แก่เมล็ดข้าว และให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวเพื่อให้เกิดการเจลาทิไนซ์เซชันอย่างสมบูรณ์ และทำการระเหยน้ำออกเพื่อให้เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ ดังนั้นกระบวนการเคลือบด้วยสารละลายสารห่อหุ้มชนิดต่างๆ และการทำแห้งด้วยฟลูอิดไดซ์เบดจึงถือเป็นวิธีการผลิตข้าวหุงสุกไววิธีการหนึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์โดย Rapid Visco Analyser ของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว และทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชัน

วัสดุห่อหุ้ม	อุณหภูมิทำแห้ง (°C)	Peak 1 (เซนติพอยส์)	Holding Strength (เซนติพอยส์)	Breakdown (เซนติพอยส์)	Final Viscosity (เซนติพอยส์)	Setback (เซนติพอยส์)	Peak Time (นาที)	Pasting Temp (°C)
MD/AG	85	1339 ± 3.55	1223 ± 3.45	116 ± 9.59	1944 ± 3.31	605 ± 2.91	5.95 ± 1.72	89 ± 0.55
MD/AG	65	1784 ± 0.98	1556 ± 2.43	228 ± 24.17	2633 ± 2.86	849 ± 6.81	5.89 ± 1.72	84 ± 1.80
MD/AG	45	1739 ± 2.9	1512 ± 6.43	227 ± 23.48	2572 ± 2.07	833 ± 0.84	5.87 ± 1.11	85 ± 0.51
RS/SB	85	1833 ± 0.83	1644 ± 0.50	188 ± 7.21	2763 ± 0.61	930 ± 0.79	5.95 ± 0.67	87 ± 1.36
RS/SB	65	1747 ± 1.80	1519 ± 6.42	227 ± 29.65	2678 ± 2.97	931 ± 5.17	5.97 ± 0.67	87 ± 0.50
RS/SB	45	1745 ± 0.78	1421 ± 0.55	324 ± 2.05	2670 ± 1.19	925 ± 3.53	5.84 ± 1.28	87 ± 1.64
W/AG	85	1573 ± 0.88	1407 ± 1.27	165 ± 3.32	2480 ± 1.46	907 ± 2.87	5.98 ± 0.67	88 ± 0.54
W/AG	65	1543 ± 5.43	1401 ± 5.38	142 ± 6.02	2492 ± 5.92	949 ± 6.78	6 ± 1.17	87 ± 1.03
W/AG	45	1390 ± 1.75	1263 ± 1.48	127 ± 4.78	2230 ± 1.15	839 ± 0.92	6.07 ± 1.07	87 ± 0.51
W/MD	85	1584 ± 2.70	1473 ± 2.98	110 ± 9.30	2462 ± 2.78	900 ± 3.42	6.12 ± 1.06	84 ± 0.54
W/MD	65	1549 ± 5.29	1414 ± 5.29	135 ± 9.28	2424 ± 4.78	887 ± 4.11	6.04 ± 2.26	82 ± 0.67
W/MD	45	1550 ± 5.43	1407 ± 5.29	143 ± 18.54	2459 ± 6.42	941 ± 8.67	6.09 ± 0.58	82 ± 0.65
ชัยนาท	-	3016 ± 0.49	2020 ± 1.87	996 ± 4.27	4125 ± 0.96	1109 ± 3.86	5.73 ± 2.01	80 ± 0.54
ขาวดอกมะลิ 105	-	2976 ± 5.02	2094 ± 3.33	882 ± 9.03	3739 ± 2.41	762 ± 7.8	5.73 ± 0	84 ± 1.62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

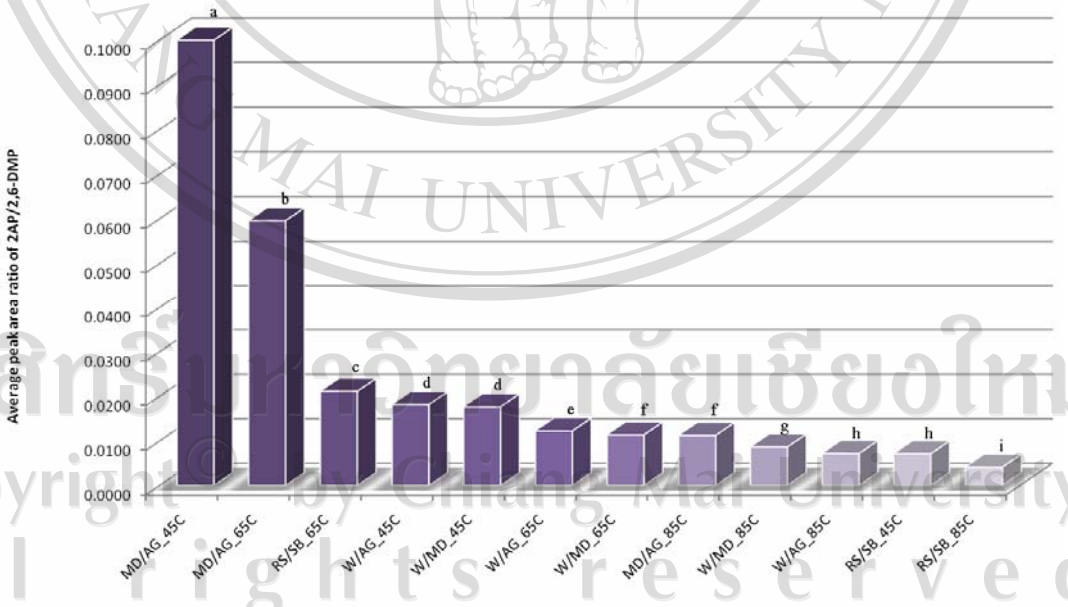


ภาพ 4.26 ลักษณะเส้นกราฟจาก RVA ของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม 4 ชนิด ทำแห้งที่อุณหภูมิ 45°C เปรียบเทียบกับ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวชัยนาทที่ไม่ผ่านกระบวนเคลือบผิว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น (Sensory evaluation)

จากการเคลือบข้าวขาวชัยนาทด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม 4 ชนิด ร่วมกับอุณหภูมิการทำแห้ง 3 ระดับ วิเคราะห์ปริมาณสาร ACPY ด้วยเครื่องวิเคราะห์ GC-NPD แล้วจึงเปรียบเทียบปริมาณสาร ACPY ที่ได้ พบว่าได้ผลดังภาพที่ 4.27 จากภาพจะเห็นได้ว่าตัวอย่างข้าวที่มีปริมาณสาร ACPY สูงสุด 6 ลำดับแรกที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้แก่ (เรียงจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด) ข้าวที่เคลือบด้วยมอลโตเดกซ์ตรินกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 45°C (MD/AG_45C) ข้าวที่เคลือบด้วยมอลโตเดกซ์ตรินกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 65°C (MD/AG_65C) ข้าวที่เคลือบด้วยแป้งข้าวกับซอร์บิทอลและทำแห้งที่ 65°C (RS/SB_65C) ข้าวที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลทกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 45°C (W/AG_45C) ข้าวที่เคลือบด้วยเวย์-โปรตีนไอโซเลทกับมอลโตเดกซ์ตรินและทำแห้งที่ 45°C W/MD_45C และข้าวที่เคลือบด้วยเวย์-โปรตีนไอโซเลทกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 65°C (W/AG_65C) ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด ดังกล่าวมาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 50 ชุดข้อมูล



ภาพ 4.27 ปริมาณสาร ACPY ของข้าวขาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้ง 4 ชนิดและทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 3 ระดับ

เมื่อ MD/AG = maltodextrin/acacia gum, RS/SB = rice starch/sorbitol, W/AG = whey protein isolate/acacia gum, W/MD = whey protein isolate/maltodextrin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก. ทดสอบความหอมของเมล็ดข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นจากผู้ทดสอบ 50 คนโดยผู้ทดสอบจะได้รับข้าวตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่างพร้อมกันโดย 1 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างมาตรฐาน และอีก 6 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างเมล็ดข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มทดสอบในลักษณะปกปิด โดยผู้ทดสอบจะตรวจสอบหาความแตกต่างของตัวอย่างที่ปกปิดทั้ง 6 ตัวอย่างว่าแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานอย่างไรด้วยการให้คะแนน จากผลการทดสอบตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากใบเตยและทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชันทั้ง 6 ตัวอย่างได้แก่ MD/AG_45C, MD/AG_65C, RS/SB_65C, W/AG_45C, W/MD_45C และ W/AG_65C พบว่าไม่มีความแตกต่างด้านความหอมจากตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

ข. ทดสอบความหอมของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มและนำมาหุงสุก

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นจากผู้ทดสอบ 50 คนโดยผู้ทดสอบจะได้รับข้าวตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่างพร้อมกันโดย 1 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างมาตรฐาน และอีก 6 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างข้าวหุงสุกซึ่งเป็นข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้ม ทำการทดสอบในลักษณะปกปิดได้แก่ข้าวเคลือบ MD/AG_45C, MD/AG_65C, RS/SB_65C, W/AG_45C, W/MD_45C และ W/AG_65C โดยผู้ทดสอบจะตรวจสอบหาความแตกต่างของตัวอย่างที่ปกปิดทั้ง 6 ตัวอย่างว่าแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานอย่างไรด้วยการให้คะแนน จากผลการทดสอบพบว่าข้าวที่เคลือบผิวด้วย มอลโตเดกซ์ตรินกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 45°C (MD/AG_45C) ข้าวที่เคลือบด้วยมอลโตเดกซ์ตรินกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 65°C (MD/AG_65C) ข้าวที่เคลือบด้วยแป้งข้าวกับซอร์บิทอลและทำแห้งที่ 65°C (RS/SB_65C) และข้าวที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลทกับมอลโตเดกซ์ตรินและทำแห้งที่ 45°C (W/MD_45C) มีความหอมไม่แตกต่างจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ ($p \leq 0.05$) แต่ข้าวที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลทกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 45°C (W/AG_45C) และข้าวที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลทกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 65°C (W/AG_65C) มีผลการทดสอบทางด้านกลิ่นว่ามีกลิ่นหอมที่น้อยกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ ($p \leq 0.05$)

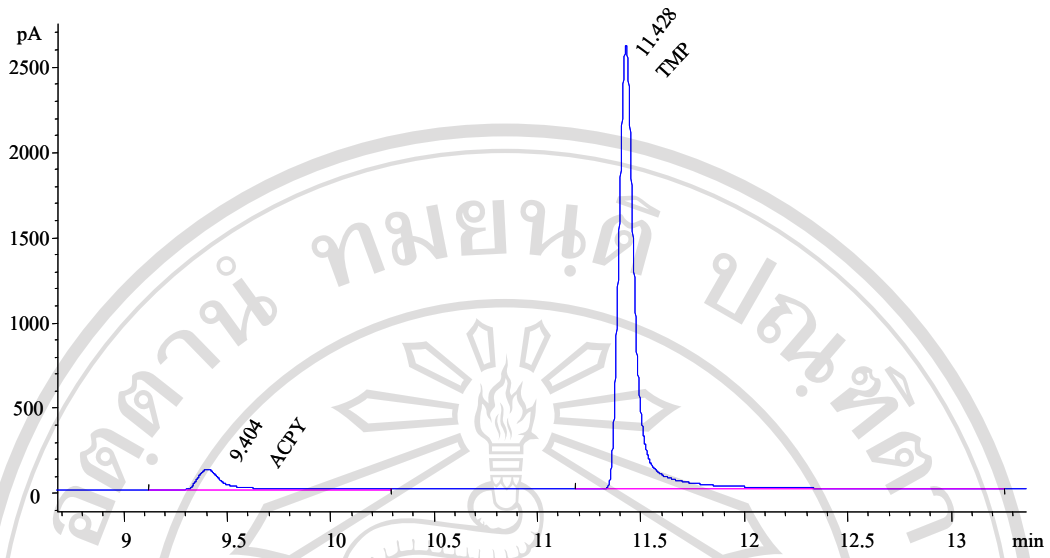
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดสอบความแตกต่างด้านกลิ่นหอม ของตัวอย่างข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย ทั้งที่หุงสุก และไม่หุงสุกโดยเปรียบเทียบกับกลิ่นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบให้คะแนนข้าวเคลือบที่ไม่ได้หุงสุกว่า ไม่มีความแตกต่างทางด้านกลิ่นกับข้าวตัวอย่างเปรียบเทียบ แต่เมื่อนำข้าวเคลือบมาหุงสุกพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนข้าวเคลือบที่ห่อหุ้มด้วยเวย์โปรตีนไอโซ-เลทกับอคาเซียกัม และทำแห้งที่ 45°C และข้าวที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลทกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 65°C แตกต่างจากข้าวตัวอย่างเปรียบเทียบโดยมีกลิ่นหอมน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลทกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 45°C และข้าวที่เคลือบด้วยเวย์โปรตีนไอโซเลทกับอคาเซียกัมและทำแห้งที่ 65°C ต่างก็มีค่าความเข้มข้นของสาร ACPY น้อยอยู่แล้วคือ มีค่าความเข้มข้นอยู่ในลำดับที่ 4 และ 6 ดังภาพที่ 27 เมื่อนำมาหุงสุกทำให้สูญเสียกลิ่นหอมไปในระหว่างกระบวนการหุงสุก และผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความหอมที่แตกต่างจากข้าวขาวดอกมะลิ 105

4.2 ศึกษาผลของสภาวะในการเก็บรักษาข้าวขาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุห่อหุ้มที่เหมาะสมต่ออัตราการการลดลงของปริมาณสารหอม ACPY

จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเคลือบสารหอมคือ ใช้มอลโต-เดกซ์ตรินร่วมกับอคาเซียกัม (MD/AG) เป็นวัสดุห่อหุ้มสารสกัดจากใบเตย และใช้อุณหภูมิ 45°C เวลา 30 นาที ในการทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชันเนื่องจากเป็นวัสดุห่อหุ้มและอุณหภูมิการทำแห้งที่ให้การเก็บกักปริมาณสาร ACPY ได้สูงที่สุดคือมีความเข้มข้นเท่ากับ 324.35 ppb ในการศึกษาขั้นตอนนี้จึงใช้ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวโดยนำมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ อลูมินัมฟอล์ย (LLDPE/PET/Al-PE) และลามิเนทพลาสติก (laminated plastic; Nylon/LLDPE) บรรจุในสภาพสุญญากาศ และทำการเก็บรักษาข้าวขาวเคลือบสารสกัดจากใบเตยในบรรจุภัณฑ์ ไว้ที่อุณหภูมิ 7°C และ 30°C เป็นระยะเวลา 100 วัน ตรวจวัดปริมาณสาร ACPY ที่เคลือบอยู่บนข้าวขาวทุกๆ 25 วัน จากผลการวิเคราะห์จะได้กราฟโครมาโทแกรมของสาร ACPY และสารมาตรฐานภายใน (TMP) ดังภาพที่ 4.28 โดยมี retention time ที่ 9.404 และ 11.428 นาที ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.28 แกสโครมาโทแกรมของสารประกอบ ACPY (retention time 9.404 นาที) และสารมาตรฐานภายใน TMP (retention time 11.428 นาที)

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสาร ACPY ของข้าวที่เคลือบและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เหลืออยู่หลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 100 วัน จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มทำการเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะมีปริมาณอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของสาร ACPY/TMP อยู่ระหว่าง 0.068-0.074 คิดเป็นค่าความเข้มข้นของสารประกอบ ACPY 4.952-5.361 ส่วนในล้านส่วน โดยข้าวขาวเคลือบสารสกัดธรรมชาติจากใบเตยมีค่าระหว่าง 0.0071-0.0078 คิดเป็นค่าความเข้มข้นของสารประกอบ ACPY 0.277-0.332 ส่วนในล้านส่วน ทั้งนี้เป็นเพราะข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวใหม่ซึ่งมีปริมาณสาร ACPY สูงมากจึงมีค่าความเข้มข้นข้นสาร ACPY สูงมากกว่าข้าวเคลือบสารธรรมชาติจากใบเตย ซึ่งข้าวขาวที่ผ่านการเคลือบนั้นสามารถเพิ่มปริมาณความหอมได้อีกหากทำการปรับปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดจากใบเตยให้มากขึ้น ในขั้นตอนกระบวนการเคลือบผิวและเมื่อผ่านระยะเวลาการเก็บรักษา 100 วันพบว่ามีปริมาณสาร ACPY เหลืออยู่น้อยลงโดยข้าวเคลือบและข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของสาร ACPY/TMP อยู่ระหว่าง 0.002-0.004 และ 0.036-0.071 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 ค่า Peak area ratio ระหว่างสาร ACPY/TMP ของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ตรินและอคาเซียกัมที่เก็บรักษาในสภาวะการบรรจุแบบต่างๆเป็นระยะเวลา 100 วัน

สภาวะการเก็บรักษา			Peak area ratio ระหว่างสาร ACPY/TMP				
	อุณหภูมิ (^{o}C)	ภาชนะบรรจุ	0 วัน ($x10^{-2}$)	26 วัน ($x10^{-2}$)	50 วัน ($x10^{-2}$)	75 วัน ($x10^{-2}$)	100 วัน ($x10^{-2}$)
ตัวอย่างข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย	7	Nylon	$0.784 \pm 0.019^{A,a}$	$0.622 \pm 0.019^{A,b}$	$0.486 \pm 0.005^{A,c}$	$0.394 \pm 0.012^{A,d}$	$0.374 \pm 0.029^{A,d}$
	7	Foil	$0.722 \pm 0.066^{A,a}$	$0.687 \pm 0.057^{A,ab}$	$0.594 \pm 0.044^{A,cd}$	$0.492 \pm 0.04^{A,cd}$	$0.408 \pm 0.005^{A,d}$
	30	Nylon	$0.734 \pm 0.001^{A,a}$	$0.450 \pm 0.006^{A,b}$	$0.342 \pm 0.004^{A,c}$	$0.219 \pm 0.013^{A,d}$	$0.202 \pm 0.007^{A,e}$
	30	Foil	$0.712 \pm 0.008^{A,a}$	$0.545 \pm 0.013^{A,b}$	$0.418 \pm 0.01^{A,c}$	$0.337 \pm 0.014^{A,d}$	$0.236 \pm 0.008^{A,e}$
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	7	Nylon	$7.377 \pm 0.101^{C,a}$	$6.628 \pm 0.063^{B,a}$	$6.774 \pm 0.503^{C,a}$	$6.746 \pm 0.578^{D,a}$	$6.998 \pm 0.134^{D,a}$
	7	Foil	$7.335 \pm 0.077^{C,a}$	$6.351 \pm 0.0031^{B,b}$	$6.987 \pm 0.326^{C,a}$	$6.947 \pm 0.035^{D,a}$	$7.085 \pm 0.174^{D,a}$
	30	Nylon	$7.365 \pm 0.028^{C,a}$	$6.423 \pm 1.014^{B,ab}$	$5.301 \pm 0.441^{B,b}$	$3.984 \pm 0.037^{B,c}$	$3.600 \pm 0.219^{B,c}$
	30	Foil	$6.841 \pm 0.0264^{B,a}$	$6.372 \pm 0.358^{B,b}$	$5.678 \pm 0.136^{B,c}$	$5.367 \pm 0.002^{C,c}$	$4.862 \pm 0.00^{C,d}$

เมื่อ Nylon คือ ภาชนะบรรจุแบบ Laminated plastic (Nylon/LLDPE)

Foil คือ ภาชนะบรรจุแบบ Aluminum Foil (LLDPE/PET/Al-PE)

หมายเหตุ : อักษรตัวพิมพ์ใหญ่กำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในคอลัมน์เดียวกัน

อักษรตัวพิมพ์เล็กกำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแถวเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

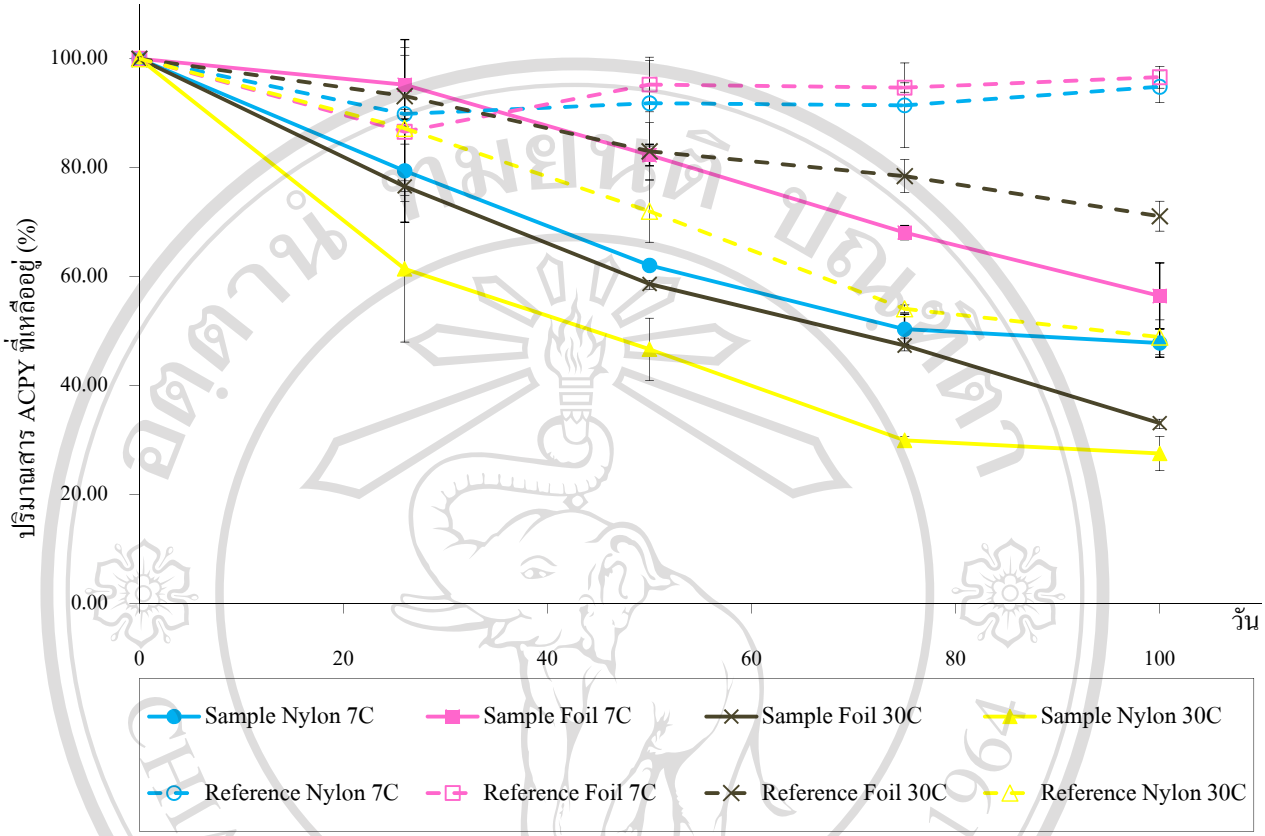
เมื่อผ่านระยะเวลาเก็บรักษา 100 วันจะเห็นได้ว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาในสภาวะแบบต่างๆจะมีอัตราการลดลงของสาร ACPY อย่างต่อเนื่อง แต่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่บรรจุในอลูมินัมฟอล์ย (LLDPE/PET/Al-PE) และลามิเนทพลาสติก (Nylon/LLDPE) ที่อุณหภูมิ 7°C จะมีปริมาณสาร ACPY ที่ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาดังภาพที่ 4.29 และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีต่อปริมาณสาร ACPY จะเห็นได้ว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเคลือบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7°C ทั้งในภาชนะบรรจุลามิเนทพลาสติก และอลูมินัมฟอล์ย จะมีปริมาณสาร ACPY เหลืออยู่มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องมาจากสาร ACPY เป็นสารที่ไม่เสถียร สามารถสลายตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง โดย Laksanalamai and Ilangantileke (1993) กล่าวว่าสาร ACPY จะลดลง 50% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องแต่ถ้าเก็บรักษาในอุณหภูมิตู้เย็นประมาณ 4-7°C เป็นเวลา 12 เดือน ปริมาณสาร ACPY จะลดลง 35% (Mahatheeranon *et al*., 2001) ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่อุณหภูมิ 7°C จึงเหมาะสมในเก็บรักษาความหอมของข้าวมากกว่าการเก็บรักษาที่ 30°C และหากพิจารณาถึงอิทธิพลของภาชนะบรรจุที่มีต่อปริมาณสาร ACPY พบว่าทั้งข้าวเคลือบและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์อลูมินัมฟอล์ยจะมีปริมาณสาร ACPY เหลืออยู่มากกว่าการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์แบบลามิเนทพลาสติก อีกนัยหนึ่งคือภาชนะบรรจุแบบอลูมินัมฟอล์ยสามารถเก็บรักษาปริมาณสาร ACPY ได้ดีกว่าลามิเนทพลาสติก ที่เป็นเช่นนี้เพราะบรรจุภัณฑ์แบบอลูมินัมฟอล์ย เป็นพลาสติกที่มีความหนาถึง 3 ชั้น ซึ่งมีความหนามากกว่าบรรจุภัณฑ์แบบลามิเนทพลาสติก ซึ่งมีความหนาเพียง 2 ชั้น นอกจากนั้นอลูมินัมฟอล์ยยังมีคุณสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของออกซิเจนได้ดีกว่าลามิเนทพลาสติก ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญนี้ทำให้สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของสาร ACPY เมื่อทำการเก็บรักษา และยังสามารถป้องกันไม่ให้สิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ก๊าซต่างๆที่อาจเกิดปฏิกิริยากับสาร ACPY ไม่ให้มาทำปฏิกิริยากับสาร ACPY ได้ซึ่งการทำปฏิกิริยานี้อาจเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้สารประกอบ ACPY ของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยมีปริมาณสาร ACPY ลดลง ดังนั้นบรรจุภัณฑ์อลูมินัมฟอล์ยจึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาความหอมของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย มากกว่าบรรจุภัณฑ์แบบลามิเนทพลาสติก

หากพิจารณาถึงปัจจัยร่วมของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7°C และ 30°C กับการเก็บรักษาด้วยภาชนะบรรจุแบบอลูมินัมฟอล์ยและลามิเนทพลาสติกจะเห็นได้ว่า ข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบและข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่างก็มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือข้าวที่เก็บรักษาในอลูมินัมฟอล์ยที่อุณหภูมิ 7°C จะมีปริมาณสาร ACPY เหลืออยู่มากที่สุดเมื่อผ่านระยะเวลาการเก็บรักษา 100 วัน รองลงมาคือข้าวที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ลามิเนทพลาสติกที่อุณหภูมิ 7°C ข้าวที่เก็บรักษาในบรรจุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภัณฑ์อลูมินัมฟอล์ยที่อุณหภูมิ 30°C และข้าวที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ลามิเนทพลาสติกที่อุณหภูมิ 30°C ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษานั้นมีผลต่อการสูญสลายของปริมาณสาร ACPY มากกว่าอิทธิพลของภาชนะบรรจุ โดยข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะมีร้อยละปริมาณสาร ACPY ที่เหลืออยู่เมื่อผ่านระยะเวลาเก็บรักษา 100 วันมากกว่าข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย หากเปรียบเทียบการเก็บรักษาที่ภาชนะบรรจุชนิดเดียวกันและอุณหภูมิการเก็บรักษาเดียวกัน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย คือ การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์อลูมินัมฟอล์ยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7°C โดยจะมีปริมาณสาร ACPY เหลืออยู่เท่ากับ 96.60% และ 56.44% เมื่อผ่านระยะเวลาเก็บรักษา 100 วันตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.29 ร้อยละของสารACPY ที่เหลืออยู่ของของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ตรินและอคาเซียกัม เมื่อเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆเป็นระยะเวลา 100 วัน

เมื่ออักษรกำกับ: Sample หมายถึง ข้าวเคลือบสารสกัดธรรมชาติจากใบเตย, Reference หมายถึง ข้าวขาวดอกมะลิ 105, Nylon หมายถึง บรรจุภัณฑ์พลาสติกลามิเนทชนิด Nylon/LLDPE, Foil หมายถึง บรรจุภัณฑ์ชนิดอลูมินัมฟอล์ย, 7C หมายถึง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7°C, 30C หมายถึง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7°C

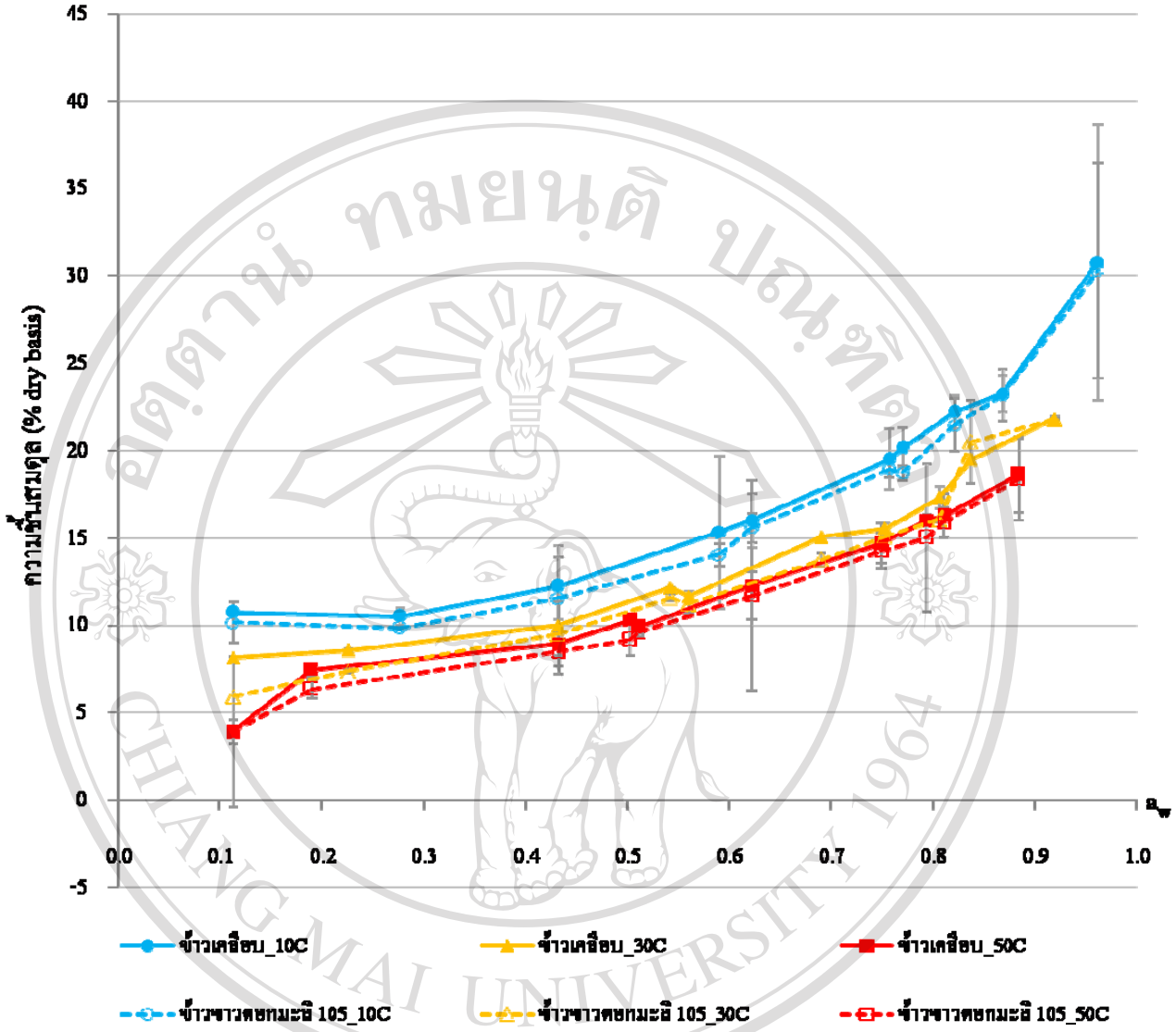
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ศึกษา Adsorption Isotherm ของผลิตภัณฑ์ข้าวเคลือบสารห่อหุ้มสารสกัดจากใบเตย

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของข้าวกับความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะบรรยากาศ

จากการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับความชื้น ของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยสารผสมระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินและอคาเซียกัม และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 , 30 และ 50°C พบลักษณะของไอโซเทิร์มการดูดซับความชื้นของข้าวทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 4.30 มีลักษณะรูปร่างเป็นส่วนโค้ง ซึ่งมีลักษณะเส้นกราฟคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Siripatrawan and Jantawat (2000) และ เอกรินทร์ (2545) และจะเห็นได้ว่าเมื่อค่า a_w เพิ่มมากขึ้นข้าวทั้งสองชนิดจะมีปริมาณความชื้นสมดุลมากขึ้น โดยปริมาณความชื้นของข้าวทั้งสองชนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในช่วง a_w 0.1124-0.4320 และจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีค่า a_w มากกว่า 0.4320 ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาวะบรรยากาศที่มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง จะมีองค์ประกอบของส่วนที่มีขั้วสูงทำให้ข้าวสามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากขึ้น และหากพิจารณากราฟซอร์พชันไอโซเทิร์มระหว่างข้าวขาวชัยนาทที่ผ่านกระบวนการเคลือบกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะเห็นได้ว่า กราฟของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบจะมีปริมาณความชื้นสมดุลมากกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่สภาวะบรรยากาศและอุณหภูมิเดียวกัน เนื่องมาจากข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวนั้นจะมีรอยร้าวบริเวณผิวอันเนื่องมาจากการกระแทกด้วยแรงลมและจากการลดความชื้น ขณะผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชันซึ่งส่งผลให้เกิดการลดความชื้นอย่างรวดเร็ว และเกิดอัตราการระเหยความชื้นจากผิวเมล็ดสู่อากาศ เร็วกว่าอัตราการแพร่กระจายความชื้นจากภายในสู่ผิวของเมล็ดข้าว ทำให้ผิวนอกของเมล็ดข้าวมีความแห้งมากและเกิดการหดตัวจึงเกิดความเค้น (stress) ซึ่งจะทำให้เกิดรอยร้าวและแตกหัก (เชิงชาย, 2552) จึงทำให้ข้าวที่เคลือบผิวมีพื้นผิวสัมผัสที่สามารถดูดซับความชื้นได้มากกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 Kaya *et al.* (1997) ได้ศึกษาซอร์พชันไอโซเทิร์มของอนุภาคของแป้งที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ และพบว่าอนุภาคของแป้งที่มีขนาดเล็กกว่าจะสามารถดูดซับความชื้นได้มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เนื่องมาจากผลของปริมาณพื้นผิวสัมผัสในการดูดซับน้ำที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดเล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.30 ไอโซเทิร์มการดูดซับความชื้นของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยสารผสมระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินและอคาเซียกัม และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10, 30 และ 50°C เมื่อ: 10C, 30C และ 50C หมายถึง อุณหภูมิการเก็บรักษา 10, 30 และ 50°C ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อไอโซเทิร์มการดูดซับความชื้น

อุณหภูมิของสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อไอโซเทิร์มของการดูดซับความชื้นของเมล็ดข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย และข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นสมดุลย์ของข้าวจะมีค่าน้อยลงที่ค่า a_w คงที่ จากภาพที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าข้าวทั้งสองชนิดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10^oC จะมีปริมาณความชื้นมากกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 50^oC ตามลำดับ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความชื้นของกราฟไอโซเทิร์มดังกล่าวมีลักษณะคล้ายคลึงกับงานวิจัยหลายฉบับ (Kaya *et al*., 1997; Jamali *et al.,* 2005; Suriya *et al.,* 2008) ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากการพิจารณาพลังงานของโมเลกุลของน้ำ โดยโมเลกุลน้ำที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีพลังงานภายในโมเลกุลที่สูง ทำให้มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาและส่งผลให้ลดความสามารถในการดึงดูดระหว่างโมเลกุลลง ส่งผลให้มีปริมาณการดูดซับความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Jamali *et al*., 2005)

4.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อไอโซเทิร์มการดูดซับความชื้น

จากการนำข้อมูลไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาทดสอบหาแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมจากสมการทั้งหมด 6 สมการ ได้แก่ สมการของ BET, GAB, Modified Chung-Pfost, Modified Halsey, Modified Henderson และ Modified Oswin โดยใช้โปรแกรมประมวลผล Sigmaplot 11.0 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งจะแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (A, B, C, k, M_0) ค่า R^2 , SEE (Standard error of estimate) และ MRE (Mean relative error) ที่ทำนายได้จากสมการแต่ละสมการ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉพาะค่า R^2 MRE และ SEE ของแต่ละสมการจะเห็นได้ว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตยที่อุณหภูมิเก็บรักษา 10 และ 30^oC (ตาราง 4.4) สมการของ GAB จะให้ค่า R^2 ที่มากที่สุดเท่ากับ 0.990 และ 0.989 ให้ค่า MRE ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 2.7051 และ 2.9946 ตามลำดับ และให้ค่า SEE ที่ต่ำที่สุดคือ 0.007 และ 0.006 ตามลำดับ แต่ข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตยที่อุณหภูมิเก็บรักษา 50^oC สมการของ Modified Chung-Pfost และ Moidified Oswin จะให้ค่า R^2 ที่มากที่สุดเท่ากับ 0.977 แต่ค่า MRE และ SEE ที่น้อยที่สุดได้จากสมการของ GAB ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.2868 และ 0.011 ตามลำดับ หากพิจารณาความเหมาะสมของสมการจากทั้งค่า R^2, MRE และ SEE พบว่าสมการที่เหมาะสมที่สุดของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยคือ สมการของ GAB และเมื่อพิจารณา ค่า R^2, MRE และ SEE จากสมการทั้ง 6 สมการของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 4.5) จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เห็นได้ว่าที่อุณหภูมิเก็บรักษาที่ 10°C สมการของ GAB จะให้ค่า R^2 ที่มากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.991 และให้ค่า MRE และ SEE ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 3.2598 และ 0.007 ตามลำดับ สำหรับที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 30°C สมการของ modified Oswin จะให้ค่า R^2 ที่มากที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.992 แต่มีค่า SEE ที่ค่อนข้างสูง (0.028) ในขณะที่สมการของ GAB ให้ค่า SEE 0.011, MRE 4.822 และค่า R^2 ที่ค่อนข้างสูงคือ 0.967 และที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 50°C พบว่าสมการของ modified Oswin จะให้ค่า R^2 ที่มากที่สุดเท่ากับ 0.971 แต่ค่า MRE ที่น้อยที่สุดได้จากสมการของ modified Chung-Pfost ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.3720 แต่สมการของ GAB จะให้ค่า SEE ที่ต่ำที่สุด (0.009) ดังนั้นหากพิจารณาความเหมาะสมของสมการจากทั้งค่า R^2, MRE และ SEE พบว่าสมการที่เหมาะสมของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยคือ สมการของ GAB

เมื่อนำพารามิเตอร์ที่ทำนายได้จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 ของสมการต่างๆมาทำนายค่าความชื้นสมดุลและนำมาพลอตกราฟ จะได้กราฟดังภาพที่ 4.31-4.36 แสดงปริมาณความชื้นสมดุลของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยและข้าวขาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 30 และ 50°C ตามลำดับ ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่า เส้นกราฟข้อมูลไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการของ BET และ GAB ต่างให้ข้อมูลปริมาณความชื้นสมดุลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองมากที่สุด แต่สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟข้อมูลไอโซเทิร์มที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10°C ที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการของ GAB ในขณะที่อุณหภูมิเก็บรักษาที่ 30 และ 50°C กราฟข้อมูลไอโซเทิร์มที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการของ BET, GAB และ modified Oswin ได้ให้ข้อมูลปริมาณความชื้น ณ จุดสมดุล ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 พารามิเตอร์ที่คาดเนจากสมการของ BET, GAB, Modified Chung-Pfost, Modified Halsey, Modified Henderson และ Modified Oswin ของไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 10, 30 และ 50°C

อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R^2	SEE	MRE
		A	B	C	M_0	K			
10	BET	-	-	-22.83	0.063	-	0.936	0.007	3.6441
	GAB	-	-	3000036.537	0.086	0.745	0.990	0.007	2.7051
	Modified Chung-Pfost	3155.715	18.857	-	-	-	0.955	0.061	17.4505
	Modified Halsey	-6.903	0.003	2.890	-	-	0.963	0.059	15.5560
	Modified Henderson	0.839	-	2.487	-	-184.774	0.942	0.074	19.2431
	Modified Oswin	0.071	0.0003	3.867	-	-	0.958	0.064	16.8860
30	BET	-	-	-31.071	0.055	-	0.958	0.005	2.8583
	GAB	-	-	3000014.509	0.071	0.737	0.989	0.006	2.9946
	Modified Chung-Pfost	3200.933	22.648	-	-	-	0.963	0.054	13.9235
	Modified Halsey	-7.240	0.003	2.790	-	-	0.982	0.041	9.2692
	Modified Henderson	1.085		2.399	-	-197.712	0.945	0.071	18.4881
	Modified Oswin	0.058	0.0002	3.745	-	-	0.968	0.054	13.0669

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 (ต่อ) พารามิเตอร์ที่คาดเนจากสมการของ BET, GAB, Modified Chung-Pfost, Modified Halsey, Modified Henderson และ Modified Oswin ของไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 10, 30 และ 50°C

อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R^2	SEE	MRE
		A	B	C	M_0	K			
50	BET	-	-	31.821	0.054	-	0.844	0.013	12.6979
	GAB	-	-	2999984.474	0.059	0.786	0.956	0.011	9.2868
	Modified Chung-Pfost	2007.925	20.628	-	-	-	0.977	0.042	10.7095
	Modified Halsey	-7.651	0.005	2.485	-	-	0.970	0.051	14.8333
	Modified Henderson	0.938	-	2.028	-	-250.743	0.975	0.048	10.0777
	Modified Oswin	0.051	0.0002	3.13	-	-	0.977	0.045	12.3992

เมื่อ A, B, C และ K คือค่าคงที่จากการคาดคะเน

M_0 = Monolayer จากการคาดคะเน

R^2 = Regression coefficient, SEE = Standard error of estimate, MRE = mean relative error

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 พารามิเตอร์ที่คาดเนจากสมการของ BET, GAB, Modified Chung-Pfost, Modified Halsey, Modified Henderson และ Modified Oswin ของไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 10, 30 และ 50°C

อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R^2	SEE	MRE
		A	B	C	M_0	K			
10	BET	-	-	-21.939	0.059	-	0.886	0.008	4.4700
	GAB	-	-	3000033.971	0.080	0.764	0.991	0.007	3.2598
	Modified Chung-Pfost	2807.189	19.039	-	-	-	0.948	0.066	18.3410
	Modified Halsey	-6.697	0.002	2.785	-	-	0.959	0.063	16.7601
	Modified Henderson	0.800	-	2.369	-	-189.435	0.934	0.079	20.1507
	Modified Oswin	0.067	0.0002	3.705	-	-	0.952	0.068	17.8408
30	BET	-	-	-1420.473	0.054	-	0.988	0.003	2.4774
	GAB	-	-	2999999.236	0.063	0.785	0.967	0.011	4.8229
	Modified Chung-Pfost	2131.775	20.827	-	-	-	0.985	0.035	6.5356
	Modified Halsey	-7.058	0.005	2.255	-	-	0.991	0.029	4.3278
	Modified Henderson	0.850	-	2.085	-	-220.541	0.973	0.049	10.6357
	Modified Oswin	0.053	0.0002	3.183	-	-	0.992	0.028	4.6841

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 (ต่อ) พารามิเตอร์ที่คาดเนจากสมการของ BET, GAB, Modified Chung-Pfost, Modified Halsey, Modified Henderson และ Modified Oswin ของไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 10, 30 และ 50°C

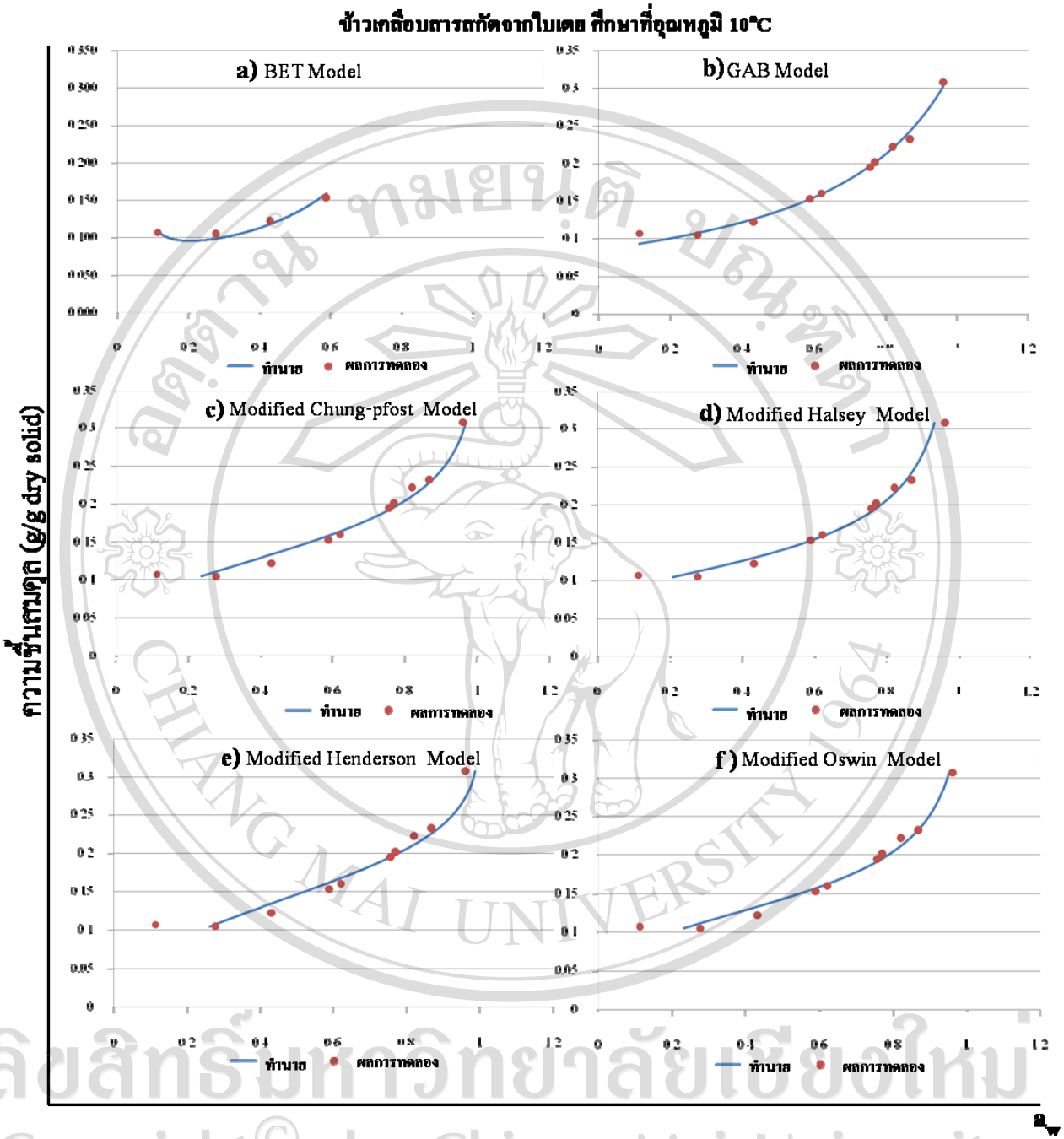
อุณหภูมิ (°ซ)	สมการ	พารามิเตอร์					R^2	SEE	MRE
		A	B	C	M_0	K			
50	BET	-	-	35.919	0.049	-	0.914	0.008	9.1863
	GAB	-	-	2999987.231	0.054	0.807	0.970	0.009	7.5221
	Modified Chung-Pfost	1754.004	20.640	-	-	-	0.989	0.029	6.3720
	Modified Halsey	-7.352	0.006	2.130	-	-	0.979	0.043	11.6907
	Modified Henderson	0.860	-	1.894	-	-256.754	0.986	0.035	6.4687
	Modified Oswin	0.047	0.0001	2.863	-	-	0.991	0.029	7.8530

เมื่อ A, B, C และ K คือค่าคงที่จากการคาดคะเน

M_0 = Monolayer จากการคาดคะเน

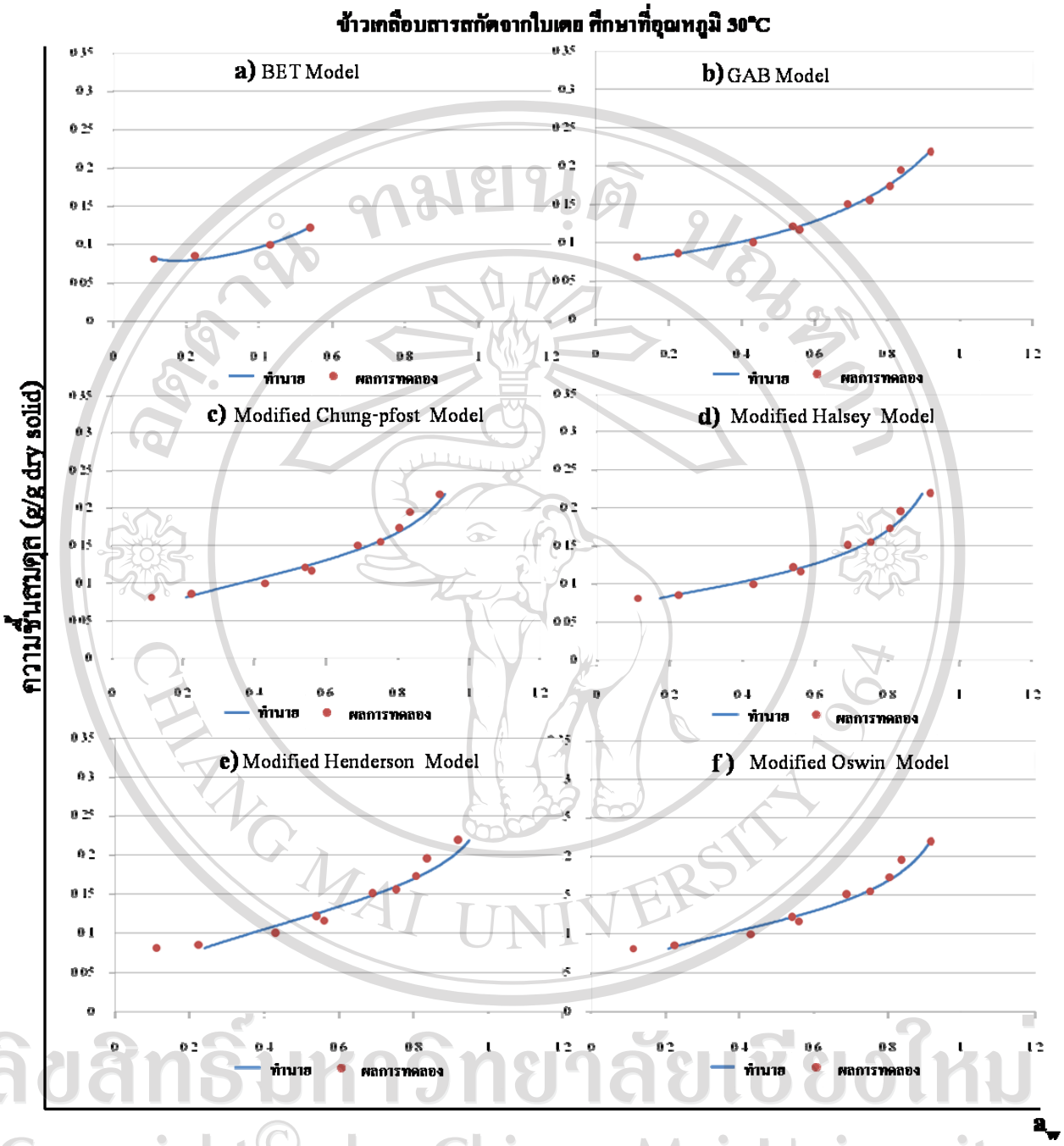
R^2 = Regression coefficient, SEE = Standard error of estimate, MRE = mean relative error

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



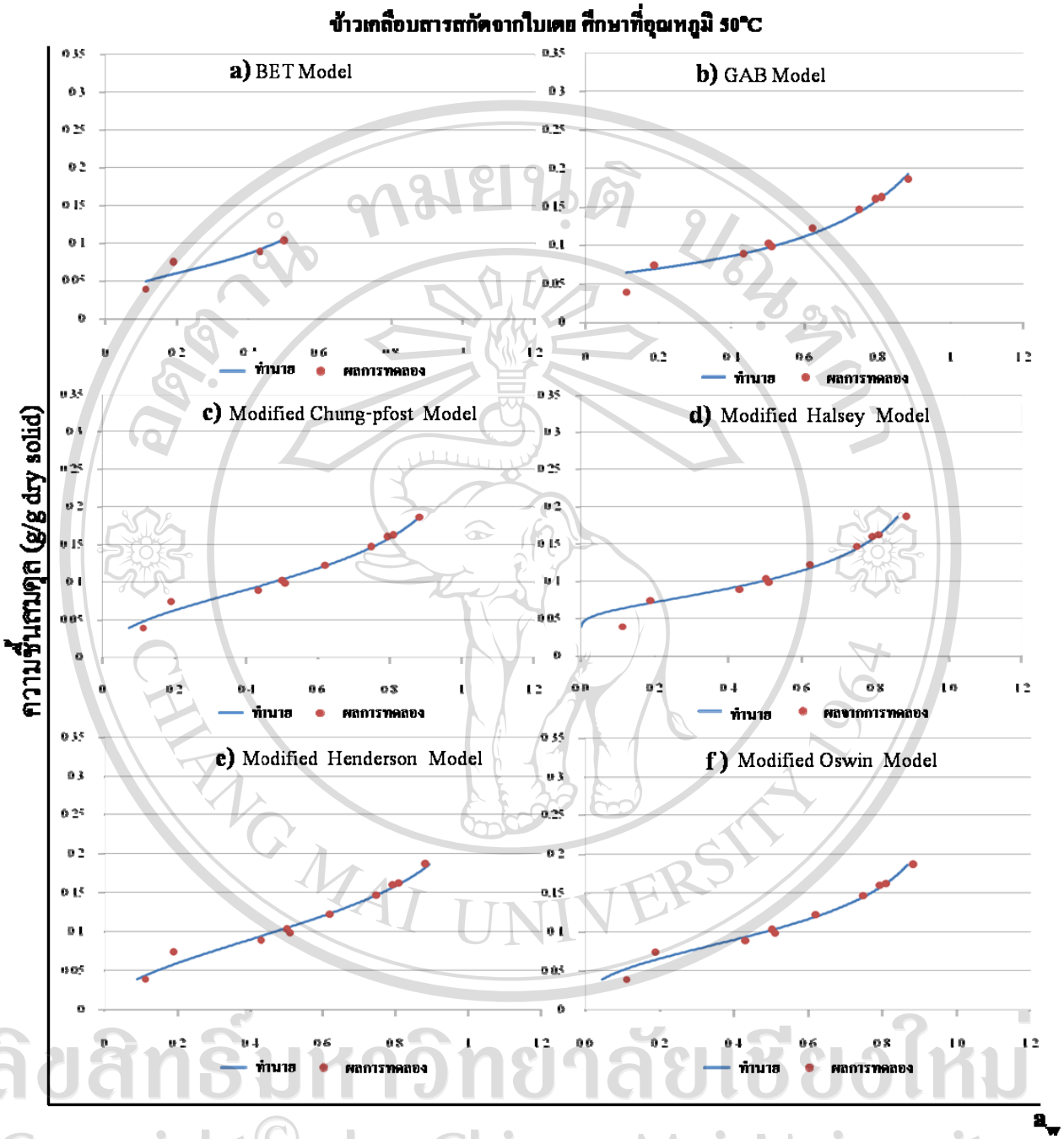
ภาพ 4.31 ซอร์พชันไอโซเทิร์มของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



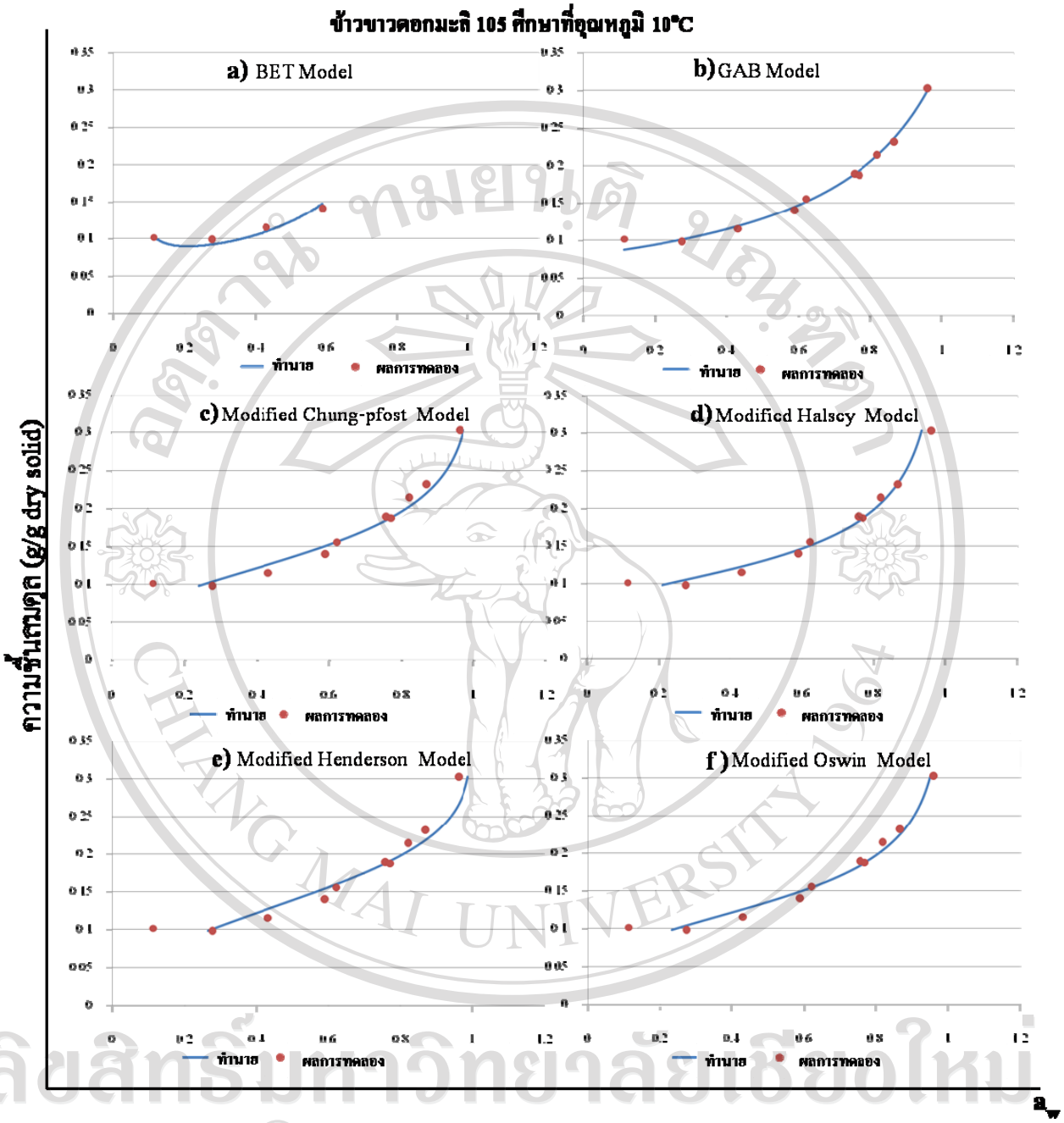
ภาพ 4.32 ซอร์พชันไอโซเทิร์มของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



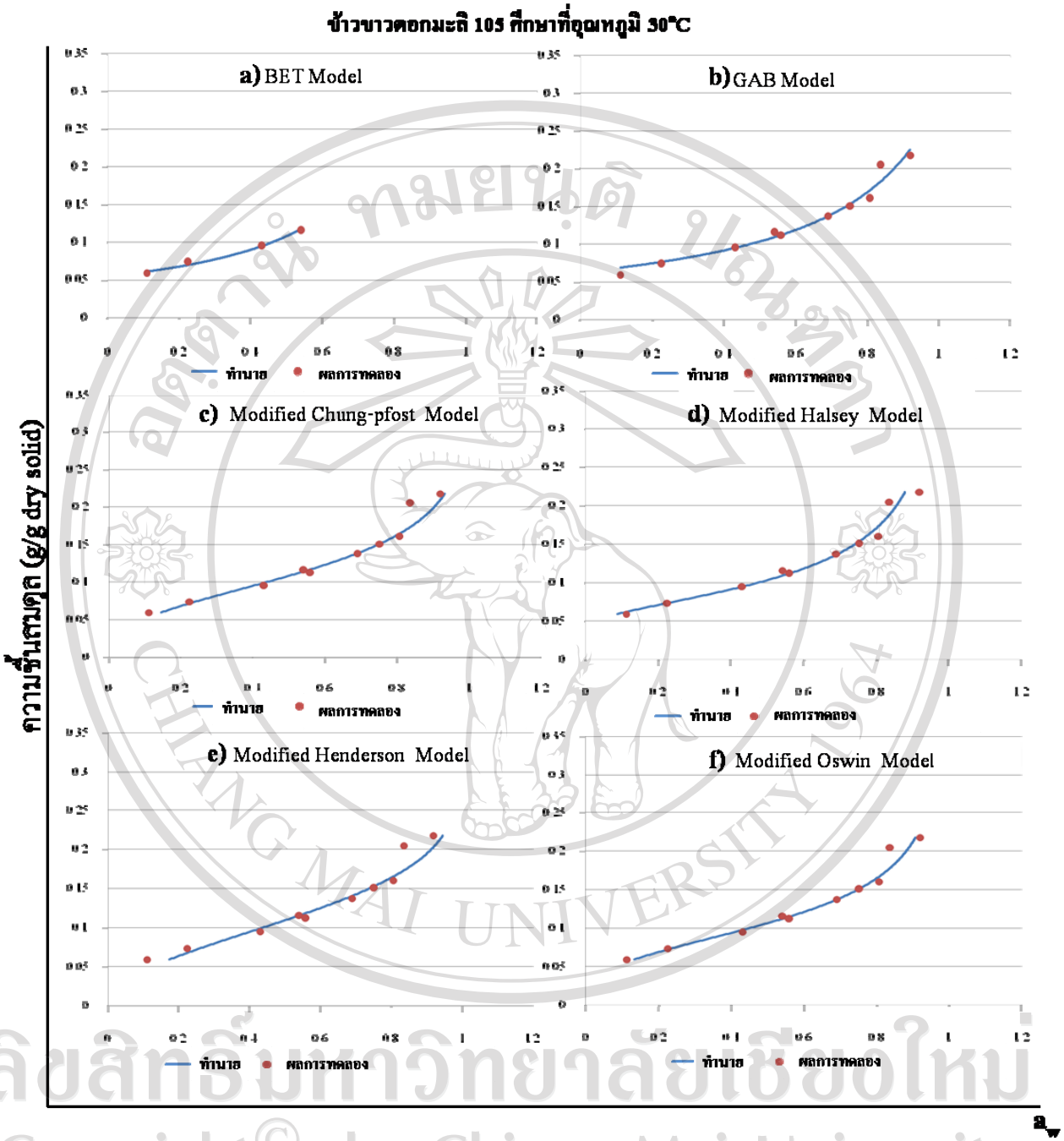
ภาพ 4.33 ซอร์พชันไอโซเทิร์มของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50°C จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



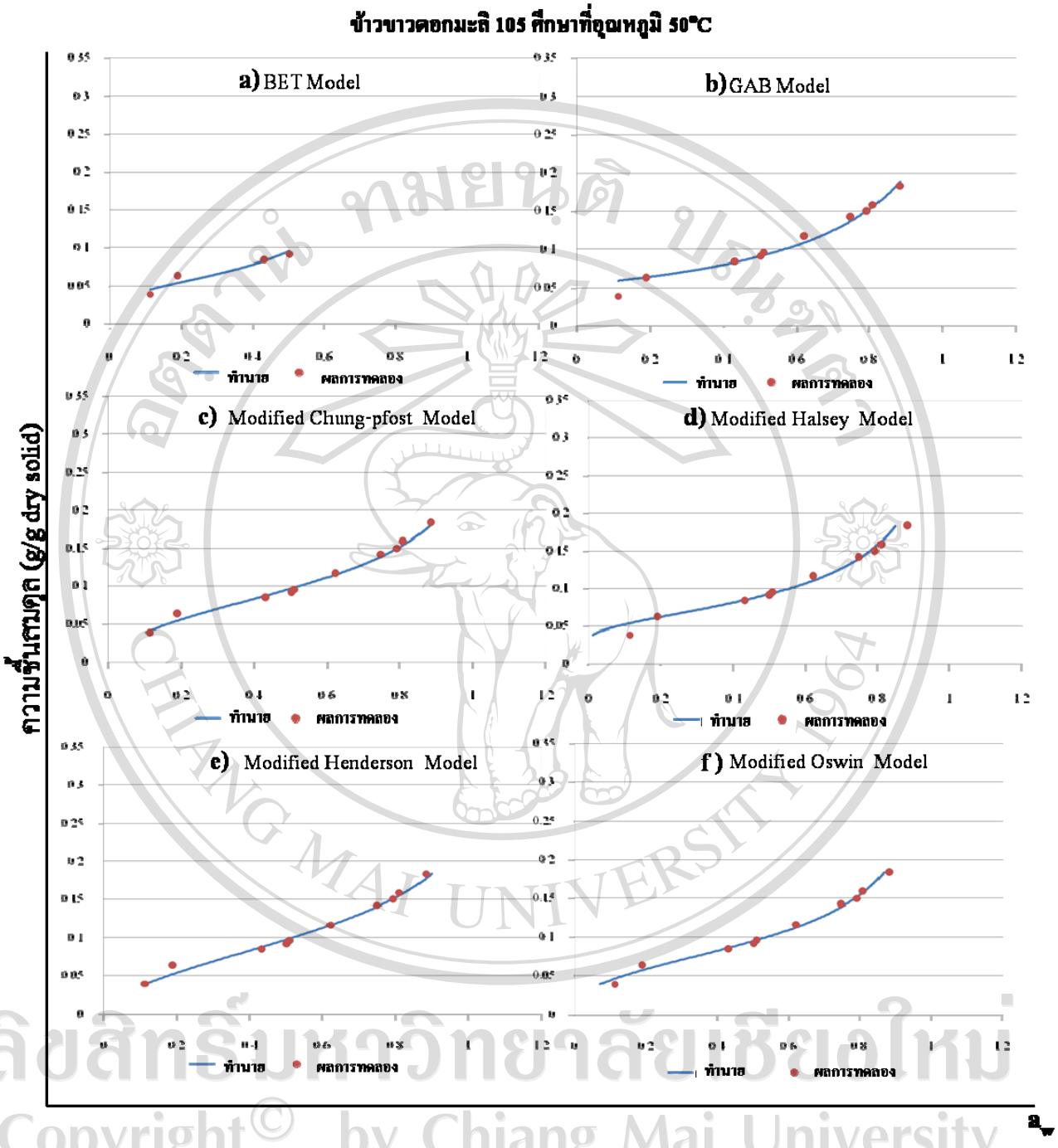
ภาพ 4.34 ซอร์พชันไอโซเทิร์มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.35 ซอร์พชันไอโซเทิร์มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.36 ซอร์พชันไอโซเทิร์มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50°C จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin

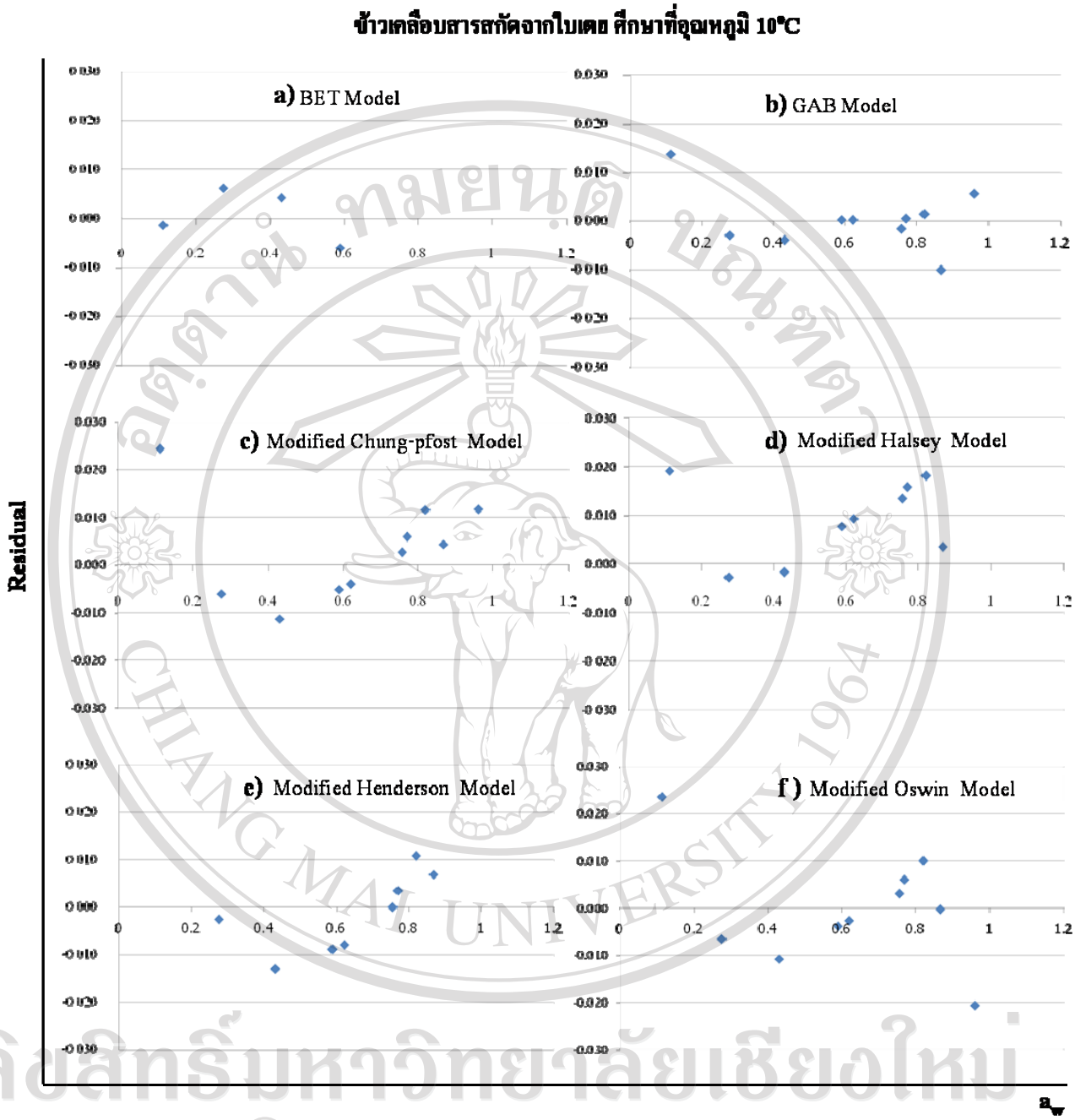
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.37-4.42 แสดงค่า residual plot ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการต่างๆทั้ง 6 สมการของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตย โดยจะเห็นได้ว่าสมการของ BET และ GAB จะให้ค่า residual ที่ดีที่สุดทุกๆ อุณหภูมิการเก็บรักษา คือไม่มีรูปแบบการกระจายตัวที่แน่นอน และมีกระจายตัวอย่างสมดุลระหว่างแกน แต่สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 residual plot ที่ได้จากสมการของ BET, GAB และ modified oswin ต่างก็ให้ค่า residual ที่เหมาะสม

ดังนั้นจากข้อมูล R^2, SEE, MRE และ residual plot ของทั้งข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตย และข้าวขาวดอกมะลิ 105 จึงสามารถสรุปได้ว่าสมการที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายปริมาณความชื้น ณ จุดสมดุลของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตย และข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือสมการของ GAB (ดังสมการที่ 4.17-4.22)

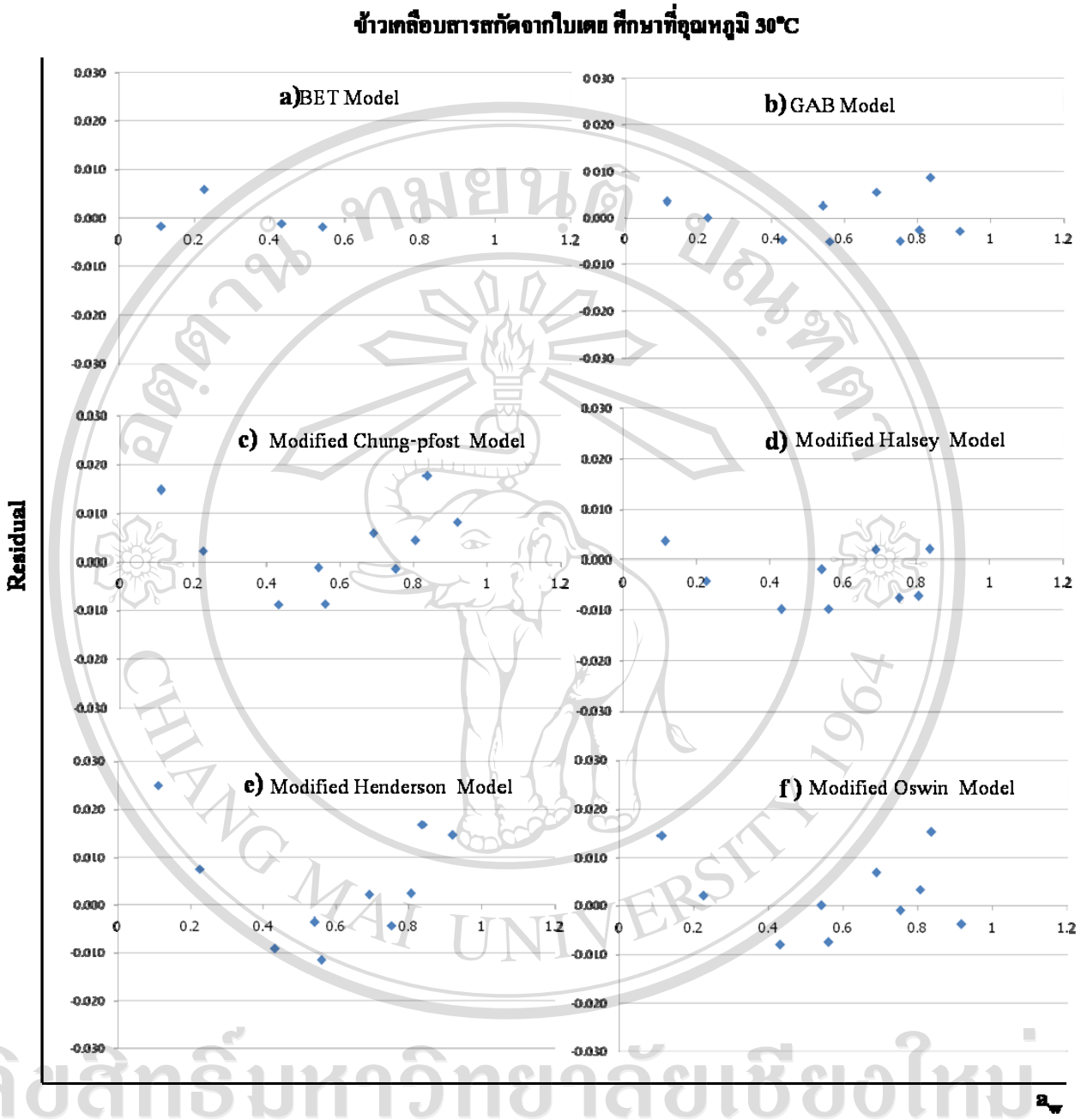
เมื่อสมการของ GAB คือ $$M = \frac{(M_0 \cdot C \cdot K)a_w}{[(1-Ka_w)+(1-Ka_w+(M_0 \cdot K)a_w)]}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



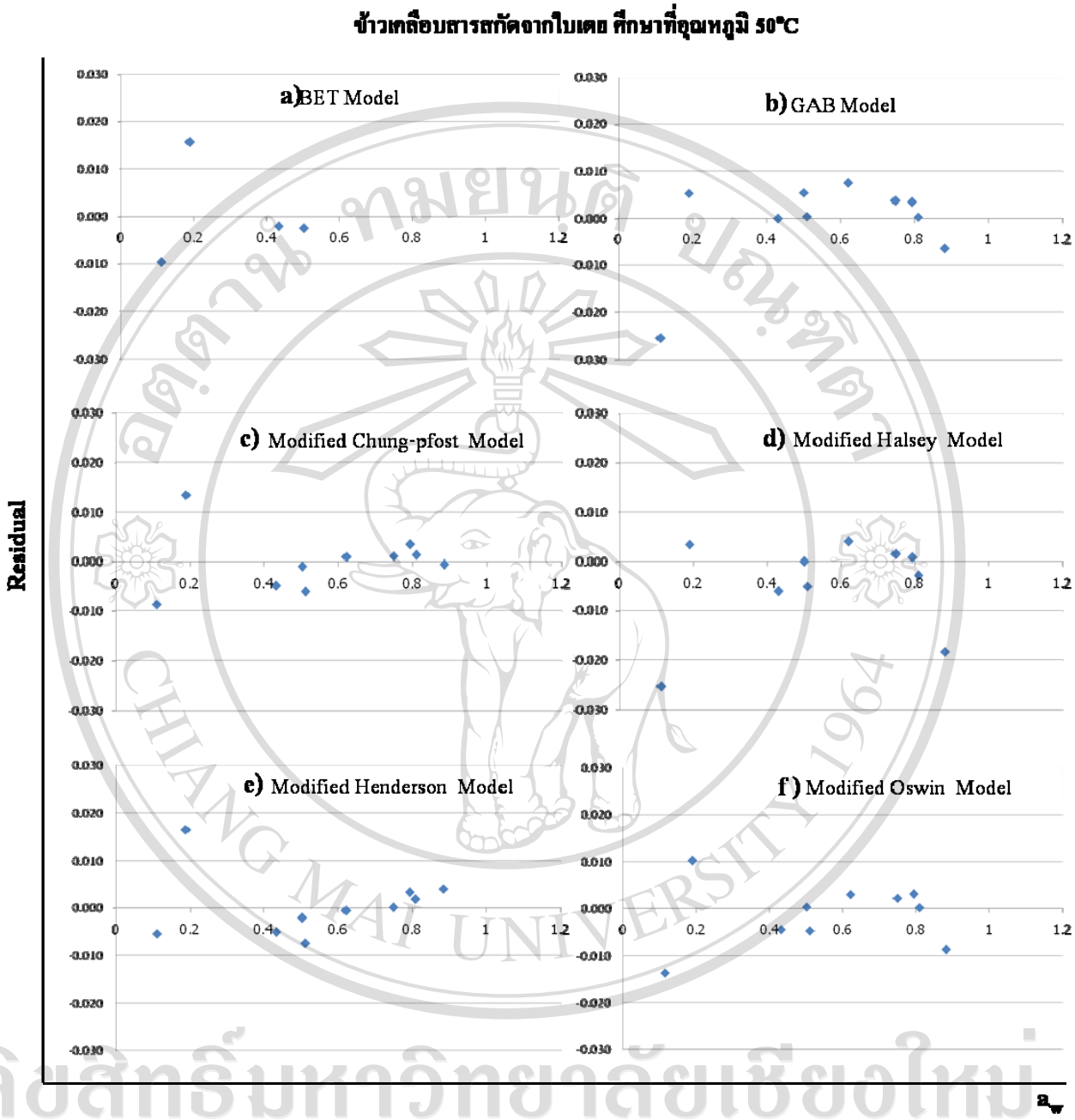
ภาพ 4.37 Residual Plot ไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยจากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 10°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



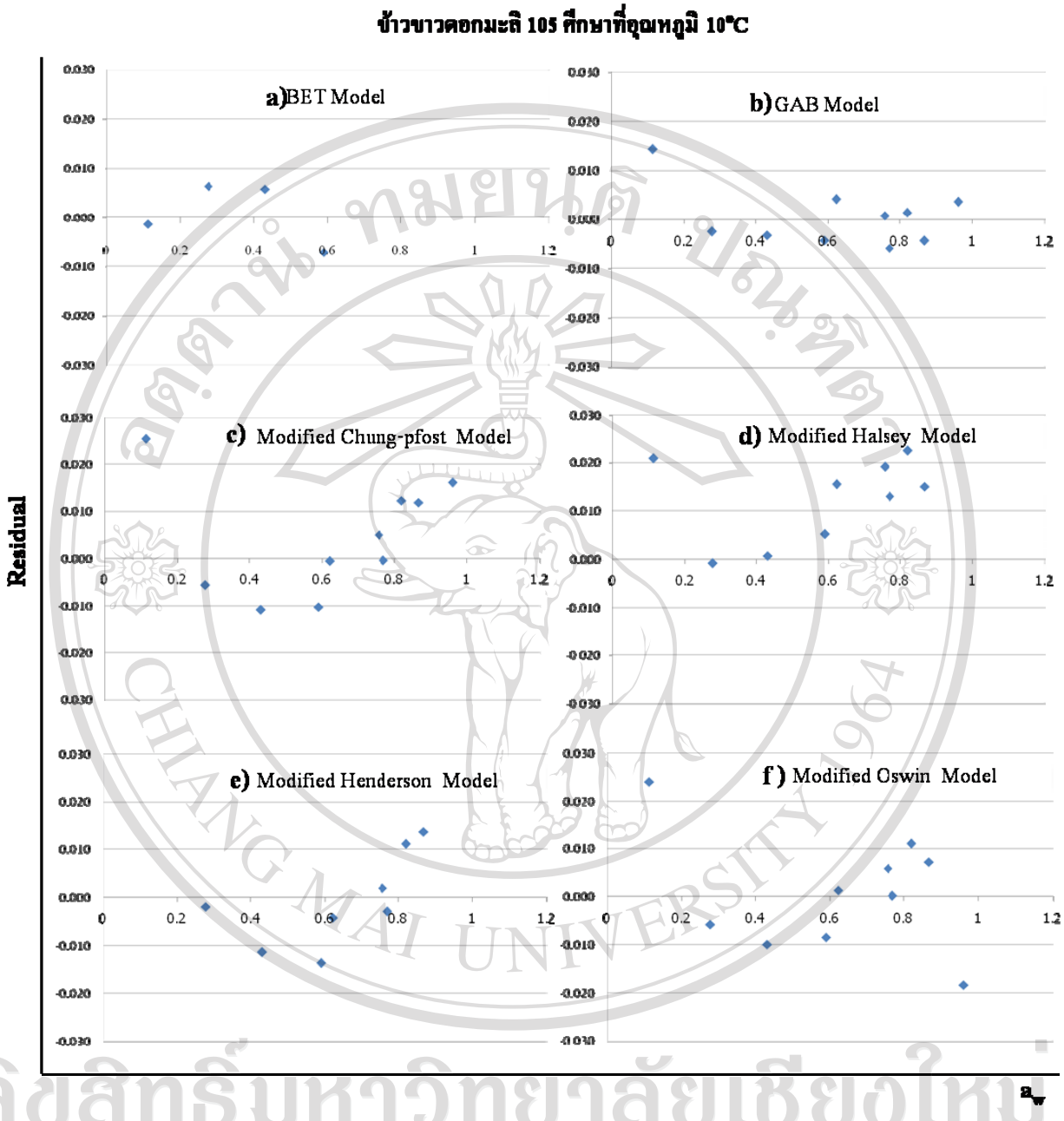
ภาพ 4.38 Residual Plot ไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยจากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 30°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



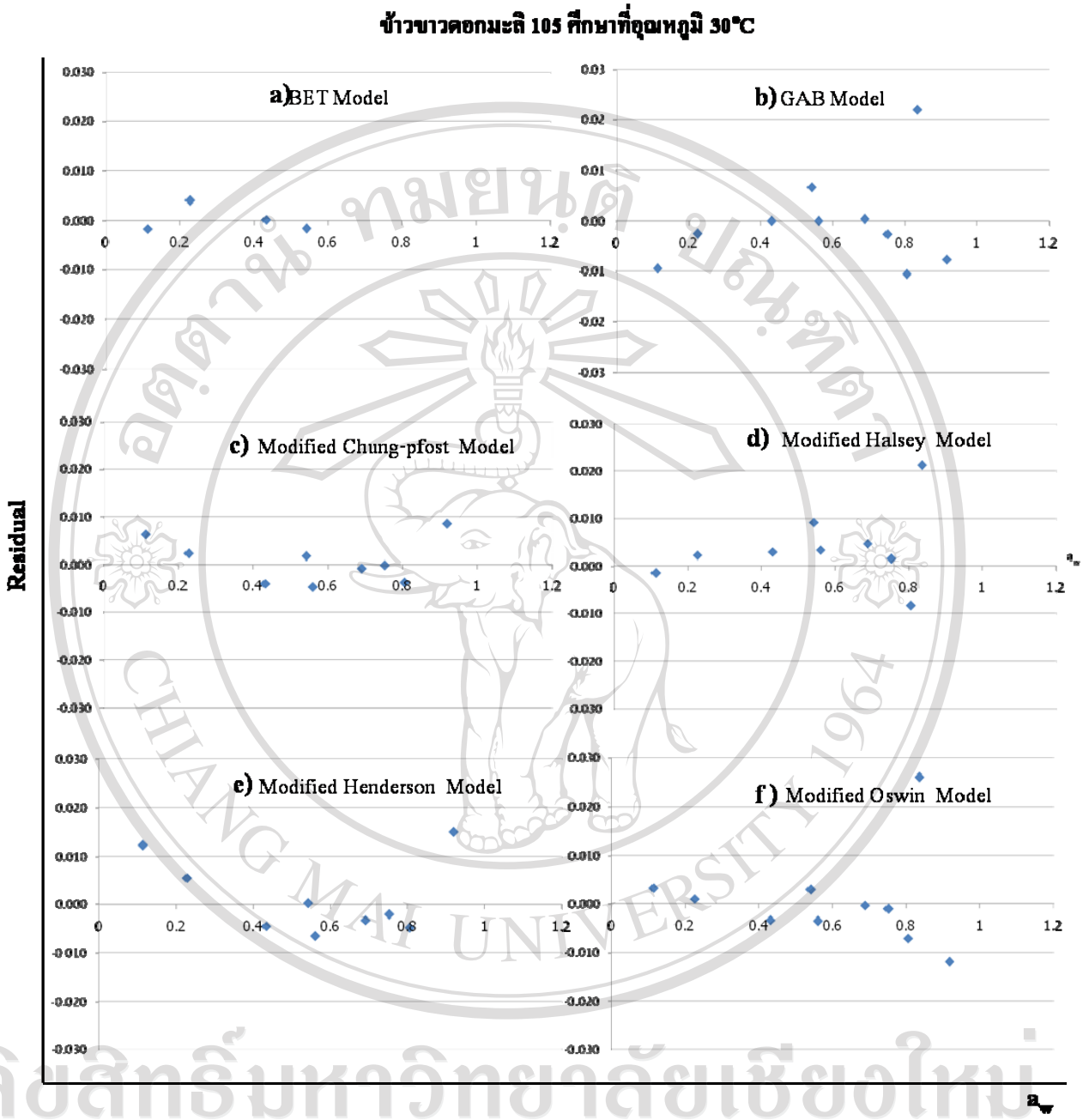
ภาพ 4.39 Residual Plot ไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยจากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 50°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



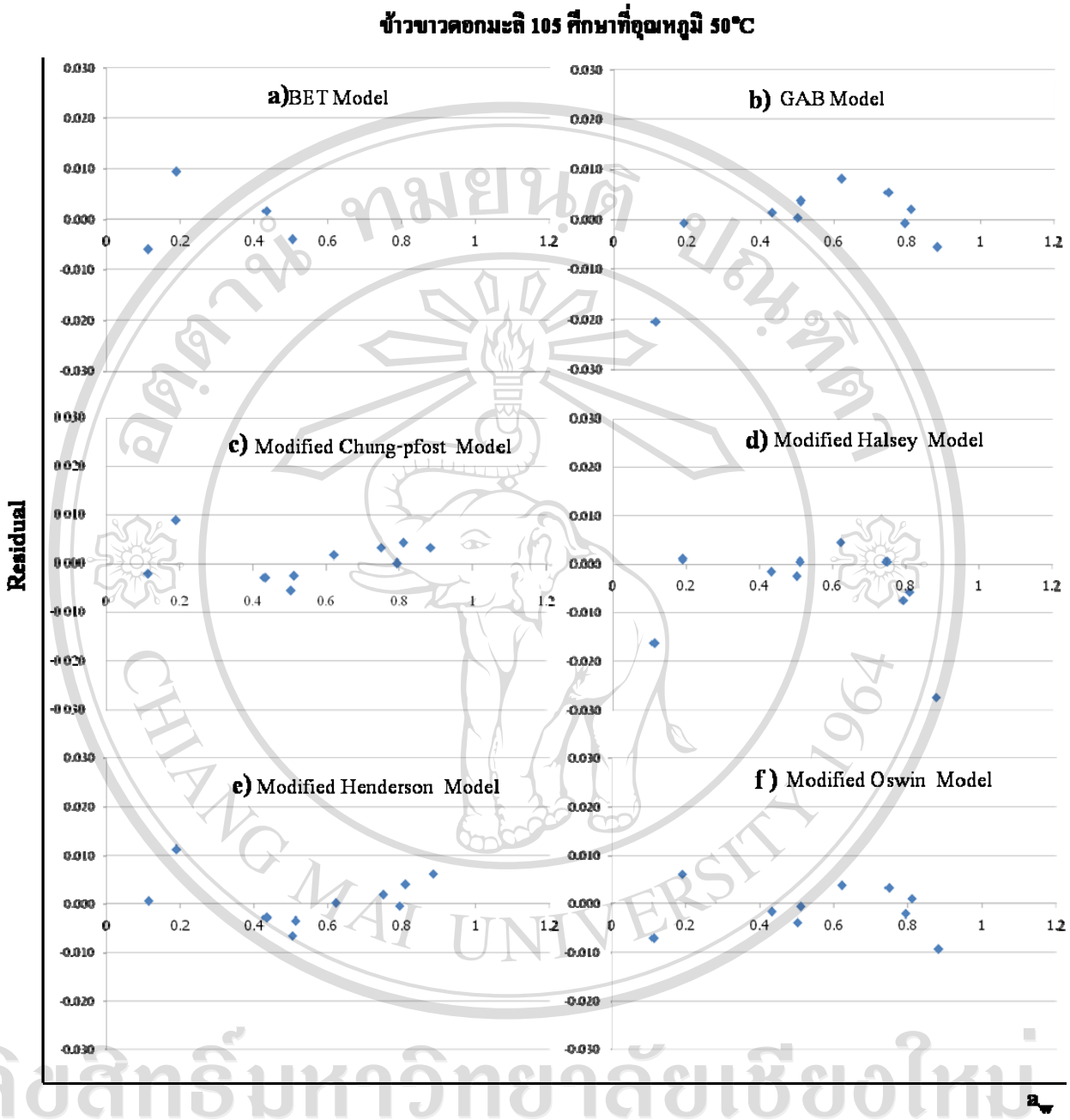
ภาพ 4.40 Residual Plot ไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 10°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.41 Residual Plot ไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 30^{o}C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.42 Residual Plot ไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากสมการของ a) BET b) GAB c) Modified Chung-Pfost d) Modified Halsey e) Modified Henderson f) Modified Oswin ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 50^{o}C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมการของ BET และ GAB

ค่า M_0 หรือค่าปริมาณความชื้นบริเวณผิว (monolayer moisture content) เป็นค่าที่มีความสำคัญต่อความเสถียรทางเคมีและทางกายภาพของอาหารแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการของ BET และ GAB โดยสมการทั้งสองค่อนข้างมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดเนื่องมาจากเป็นสมการที่ดัดแปลงมาจากสมการทางสถิติเดียวกัน แต่สมการของ GAB จะมีความละเอียดมากกว่าสมการของ BET โดยที่สมการของ BET จะมีพารามิเตอร์สองตัวคือ M_0 และ C ในขณะที่สมการของ GAB จะมีพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ M_0, C และ K ซึ่งจากการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับของข้าวเคลือบสารสกัดธรรมชาติจากใบเตย และข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าทุกสภาวะการเก็บรักษาของข้าวทั้งสองชนิด ค่า M_0 ที่ได้จากสมการของ GAB จะมีค่ามากกว่าค่า M_0 ที่ได้จากสมการของ BET (ตารางที่ 4.4-4.5) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.054-0.086 กรัม/กรัม (ฐานแห้ง) หรือเท่ากับ 5.4-8.6% ซึ่งค่า M_0 ของข้าวทั้งสองชนิดมีแนวโน้มที่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มากขึ้น ซึ่งโดยปกติอาหารแห้งจะมีค่า M_0 อยู่ระหว่าง 3.2-16% (ฐานแห้ง) (Palou *et al.,*1997) Basu *et al.* (2006) กล่าวว่าค่า M_0 จากสมการของ BET และ GAB ต่างมีความสัมพันธ์กัน โดยค่า M_0 จากสมการของ GAB จะมีค่ามากกว่าสมการของ BET เสมอและมักจะพบว่าพารามิเตอร์ K ที่ได้จากสมการของ GAB มีค่าน้อยกว่า 1 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่า M_0 ของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยกับค่า M_0 ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ค่า M_0 หรือค่าปริมาณความชื้นระดับ monolayer ของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยจะมีค่าสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวนั้นถูกเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตย ที่ผ่านกระบวนเอนแคปซูลเลชันด้วยสารผสมระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินกับอคาเซียกัม ซึ่งสารประกอบทั้งสองเป็นสารที่มีขั้วสามารถละลายได้ในน้ำ ดังนั้นข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบจึงสามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว หรืออาจเกิดจากการที่ข้าวผ่านกระบวนการเคลือบและทำแห้ง ซึ่งจะมีรอยร้าวบริเวณผิวอันเนื่องมาจากการลดความชื้นอย่างรวดเร็วของเมล็ดข้าว จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการจับกับโมเลกุลของน้ำเป็นน้ำชั้นเดี่ยว ได้มากกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเคลือบผิว และสามารถกล่าวได้ว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตยนั้นสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าข้าวที่ไม่เคลือบ หากความชื้นของอาหารสูงกว่าค่า M_0 ก็จะมีความเสี่ยงต่อการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งควรทำให้อาหารมีค่าความชื้นต่ำกว่าค่า M_0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.4-8.6% (ฐานแห้ง) ซึ่งปริมาณความชื้น ของข้าวที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้มมีค่าอยู่เท่ากับ 2.1% (ฐานแห้ง) ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่าค่า M_0 ที่เหมาะสมดังนั้นหากต้องการให้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง M_0 ดังกล่าวอาจต้องลดระยะเวลาใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทำแห้งลงเพื่อให้ข้าวเคลือบมีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องมีปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่เกินความชื้นมาตรฐานของข้าวขาว 14% (ฐานเปียก) (มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546) ซึ่งอาจต้องทำการศึกษาสภาวะการผลิตต่างๆที่เหมาะสมรวมทั้ง ลักษณะต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านกระบวนการผลิตต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved