

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การตรวจสอบสมบัติของรำข้าว

เมื่อนำรำละเอียดที่ผ่านการขัดสีใหม่ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มาตรวจสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลดังนี้

1. การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

1.1 ค่าสี

รำข้าวมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อน มีสีสว่าง แต่ถ้าหากรำข้าวมีสีออกน้ำตาลเข้มอาจเป็นไปได้ว่ามีแกลบปนมามาก หรือรำละเอียดที่มีสีค่อนข้างขาวอาจมีหินฝุ่นปลอมปนมาด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้รำข้าวบิบน้ำมันออกมาได้ในปริมาณน้อย นอกจากนี้รำที่ได้จากข้าวแต่ละพันธุ์ จะมีสีที่แตกต่างกันด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่าสีแบบ CIE Lab scale ซึ่งประกอบด้วยชั้นของ L^* คือระดับความเข้มของแสงสว่างจาก 0-100 ชั้นของค่าสี a^* คือค่าสีที่เกิดขึ้นในช่วงแกนสีแดงถึงสีเขียว และชั้นของค่าสี b^* คือค่าสีที่เกิดขึ้นในช่วงแกนสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน

จากตาราง 6 พบว่ารำข้าวมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 64.14, 1.69 และ 18.86 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารำข้าวที่ได้เป็นสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งสามารถสันนิษฐานเบื้องต้นได้ว่ารำข้าวมีแกลบเจือปนมาน้อย ทำให้บิบน้ำมันได้ในปริมาณมาก

ตาราง 6 ค่าสีของรำข้าว

รำข้าว	ค่าสี
L^*	64.14 ± 0.26
a^*	1.69 ± 0.69
b^*	18.86 ± 0.91

2. การตรวจสอบสมบัติทางเคมี

ในรำข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ถั่ว และคาร์โบไฮเดรต โดยปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย

ด้วยกัน เช่น พันธุ์ข้าว ชนิดหรือวิธีการขัดสี ระดับการขัดสี วิธีการคงสภาพ ตลอดจนขั้นตอนการเก็บรักษาข้าวก่อนขัดสี

จากตาราง 7 พบว่า รำละเอียดของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 8.16, 16.29, 22.04, 12.53, 9.51 และ 31.46 ตามลำดับ Salunkhe, et al. (1992) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว พบว่ามีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 13.2-17.3 ไขมันร้อยละ 17-22.9 เยื่อใยร้อยละ 9.5-13.2 และเถ้าร้อยละ 9.2-11.5 Malekian, et al. (2000) รายงานว่าในรำข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้แก่ ความชื้นร้อยละ 14.0 โปรตีนร้อยละ 11.3-14.9 ไขมันร้อยละ 15.0-19.7 เยื่อใยร้อยละ 7.0-11.4 เถ้าร้อยละ 6.6-9.9 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 34.0-62.0 และคมสันต์ หุตะแพทย์ (2550) รายงานว่าในรำข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ความชื้นร้อยละ 10.8 โปรตีนร้อยละ 14.3 ไขมันร้อยละ 22.8 เยื่อใยร้อยละ 9.2 เปลือกแรมร้อยละ 9.2 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 33.7 ซึ่งพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงหรืออยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยดังที่กล่าวมา

ตาราง 7 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	8.16 ± 0.07
โปรตีน	16.29 ± 0.28
ไขมัน	22.04 ± 0.09
เยื่อใย	12.53 ± 0.34
เถ้า	9.51 ± 0.37
คาร์โบไฮเดรต	31.46 ± 0.42

จากตาราง 8 พบว่ารำข้าวมีค่า pH 6.93 มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.07 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยกำหนดให้รำข้าวขัดสีใหม่มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 3 (วรภาพ พงศ์ธกุลพานิช, 2543) และมีปริมาณสารแกมมาโอริซานอล 1,376 ppm แต่ไม่พบค่าเปอร์ออกไซด์ อาจเนื่องมาจากรำข้าวเป็นวัตถุดิบในขั้นตอนแรกของการผลิตน้ำมันรำข้าว ใช้เวลาในการสัมผัสกับออกซิเจนน้อย จึงไม่สามารถตรวจวัดค่าเปอร์ออกไซด์ได้

Ryu and Cheigh (1980) ได้รายงานปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ ในรำข้าวที่ผ่านการขัดสีใหม่และยังไม่ได้ผ่านการทำให้คงที่ พบปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 3.6 และ ค่าเปอร์ออกไซด์ 32.8 meq/Kg ซึ่งผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ Kumar, et al. (2006) รายงานปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ในรำข้าวพันธุ์ IR-64 ของอินเดีย พบปริมาณ กรดไขมันอิสระร้อยละ 5.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ 0.4 meq/Kg และ ปริมาณสารแกมมาโอริซานอล 462.2 ppm ซึ่งเห็นได้ว่ามีค่าเปอร์ออกไซด์ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ แต่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ มากกว่า และมีปริมาณสารแกมมาโอริซานอลน้อยกว่า

ตาราง 8 สมบัติทางเคมีของรำข้าว

สมบัติทางเคมี	รำข้าว
ค่า pH	6.93 ± 0.02
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/Kg)	0.00 ± 0.00
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)	0.07 ± 0.01
ปริมาณสารแกมมาโอริซานอล (ppm)	1,376 ± 0.76

3. การตรวจสอบสมบัติทางจุลชีววิทยา

Total plate count เป็นการตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่าง สามารถบ่งชี้ถึง คุณภาพของตัวอย่าง การจัดการ รวมถึงสุขลักษณะในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต Yeast and Mould คือ เชื้อราในกลุ่มฟังไจ (fungi) โดยเราสามารถเติบโตในสภาพที่มีอากาศเท่านั้น *Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Coliform แบคทีเรียชนิดนี้ทำให้เกิดอาการท้องเสียบ่อย ที่สุด ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ แต่อาการมักไม่รุนแรง ซึ่ง Coliform มักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้สุขลักษณะ ในอาหาร รวมถึงกระบวนการผลิต เนื่องจากพบได้ในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต และสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะแวดล้อมภายนอก

จากตาราง 9 สังเกตว่าไม่พบเชื้อ *Escherichia coli* ในรำข้าว แต่พบ Total plate count, Yeast & Mould และ Coliform จำนวน 8.84×10^3 , 7.86×10^3 และ 6.54×10^4 cfu/g ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยนี้ตรวจพบ Total plate count และ Yeast & Mould ได้น้อยกว่างานวิจัยของ Oliveira, et al. (2012) ที่ได้ทำการตรวจวัด Total plate count และ Yeast & Mould ในรำข้าวขัดสี

ใหม่ พบว่ามีจำนวน 4.2×10^4 และ 5.4×10^4 cfu/g ตามลำดับ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น การจัดการวัตถุดิบ การเก็บตัวอย่าง เป็นต้น

ตาราง 9 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในรำข้าว

เชื้อจุลินทรีย์	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (cfu/g)
Total plate count	8.84×10^3
Yeast and Mould	7.86×10^3
<i>Escherichia coli</i>	<1
Coliform	6.54×10^4

รำข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ในการนำมาสกัดน้ำมันรำข้าว เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 3 (วราพร พงศ์ธรกุลพานิช, 2543) ซึ่งสามารถบีบน้ำมันได้ในปริมาณมาก โดยรำข้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงเมื่อนำมาสกัดจะได้น้ำมันในปริมาณน้อย และมีกลิ่นเหม็นหืน

ตอนที่ 2 การสกัดน้ำมันรำข้าวโดยกระบวนการบีบเย็นและการตรวจสอบสมบัติของน้ำมันรำข้าว

นำรำข้าวละเอียดที่ผ่านการขัดสีใหม่มาผ่านเข้าเครื่องบีบเย็นแบบสกรูขนาด 2 แรงม้า เพื่อทำการบีบน้ำมันจะได้น้ำมันรำข้าวดิบออกมา จากนั้นเก็บตัวอย่างรำ กากรำ และน้ำมันรำข้าวในแต่ละขั้นตอนการผลิตมาตรวจสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลดังนี้

1. การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

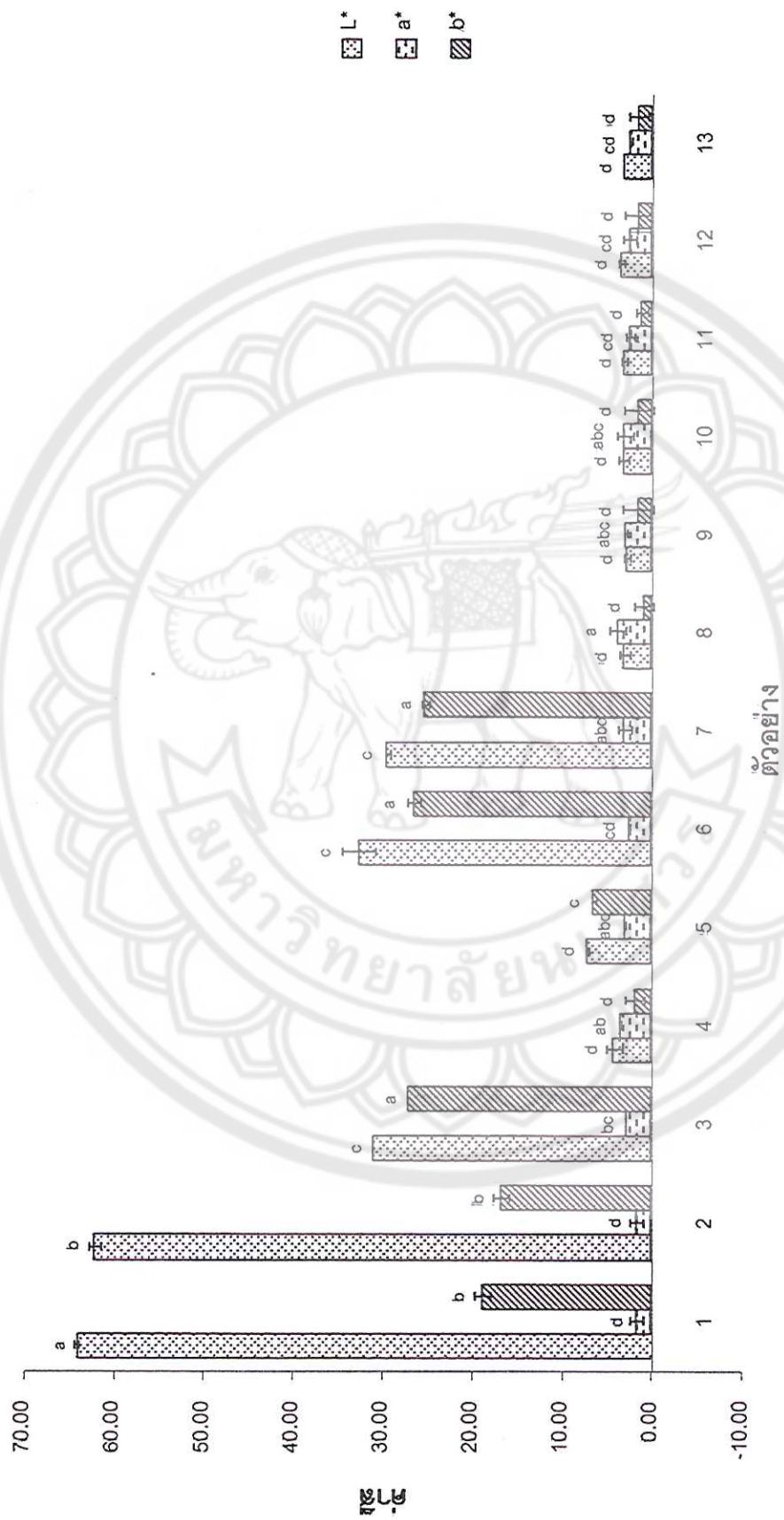
1.1 ค่าสี

จากภาพ 6 พบว่าน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการบีบเย็นมีค่า L^* ค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วง 2.77-7.11 นั่นคือมีค่าความสว่างน้อย น้ำมันที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม ในขณะที่รำข้าวก่อนบีบน้ำมันมีค่า L^* 64.14 ซึ่งมีค่าความสว่างสูง เมื่อพิจารณาค่า a^* พบว่าค่า a^* ของน้ำมันรำข้าวที่ได้ในแต่ละขั้นตอนส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันกับค่า a^* ของรำข้าว ส่วนค่า b^* จะเห็นได้ว่ารำข้าวมีค่า b^* 18.86 ซึ่งค่าที่วัดได้สูงมากกว่าน้ำมันรำข้าวที่ได้ในแต่ละกระบวนการ เมื่อพิจารณาค่าสีโดยรวม พบว่าสี

และความสว่างของน้ำมันรำข้าวที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตไม่แตกต่างกันมากนัก โดยน้ำมันรำข้าวในขั้นตอนสุดท้ายของขั้นตอนการผลิตคือผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 3.12, 2.46 และ 1.50 ตามลำดับ โดยมีสีน้ำตาลแกมเขียว

Thanonkaew, et al. (2012) ได้รายงานค่าสีของน้ำมันรำข้าวพันธุ์สังข์หยด พัทลุงที่ได้จากการบดเย็นและรำที่นำมาบดยังไม่ได้ผ่านการทำให้คงที่ พบว่ามีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 10.44, 1.59 และ 12.94 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้รายงานอีกว่ายังไม่มีมาตรฐานของสีสำหรับน้ำมันรำข้าวบดเย็น และ L^* , a^* และ b^* อาจเป็นค่าที่ใช้จำแนกสีของน้ำมันรำข้าวได้จากผลงานวิจัยดังกล่าวค่าสีที่ได้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ของรำข้าวที่นำมาบดน้ำมัน รวมถึงปัจจัยอื่นๆ



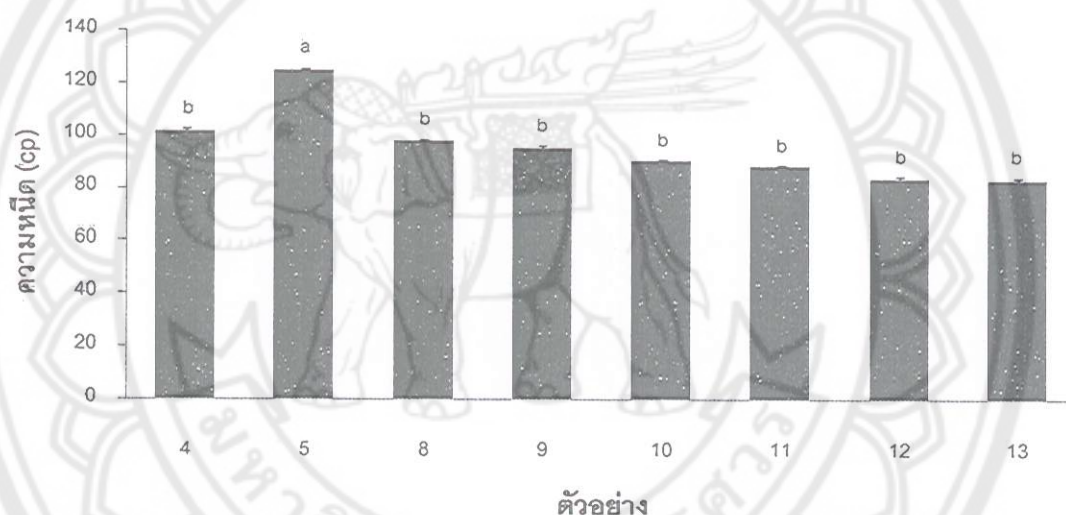


ภาพ 6 ค่าสีของรำข้าว กากรำ และน้ำมันรำข้าวในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวปีบเย็น

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

1.2 ความหนืด

จากภาพ 7 จะเห็นได้ว่าน้ำมันที่ผ่านกระซอนเกรด B มีความหนืดมากที่สุด คือ 124.46 cp เนื่องจากเป็นส่วนของน้ำมันที่อยู่กันถึงเมื่อทิ้งไว้ข้ามคืนหลังจากทำการบีบน้ำมันแล้ว น้ำมันส่วนนี้จึงมีตะกอนมาก และเมื่อนำน้ำมันที่ผ่านกระซอนเกรด B มากรองผ่านกระดาษ whatman เบอร์ 91 น้ำมันที่ได้จะมีความหนืดลดลงเช่นเดียวกับน้ำมันที่ผ่านกระซอนเกรด B โดยน้ำมันผ่านกระซอนเกรด A จะมีความหนืดลดลงมาจากน้ำมันผ่านกระซอนเกรด B คือ 101.55 cp และเมื่อนำน้ำมันที่ผ่านกระซอนเกรด A มากรองผ่านกระดาษ whatman เบอร์ 91 น้ำมันที่ได้มีความหนืดไม่แตกต่างกัน



ภาพ 7 ความหนืดของตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวแบบบีบเย็น

หมายเหตุ: ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

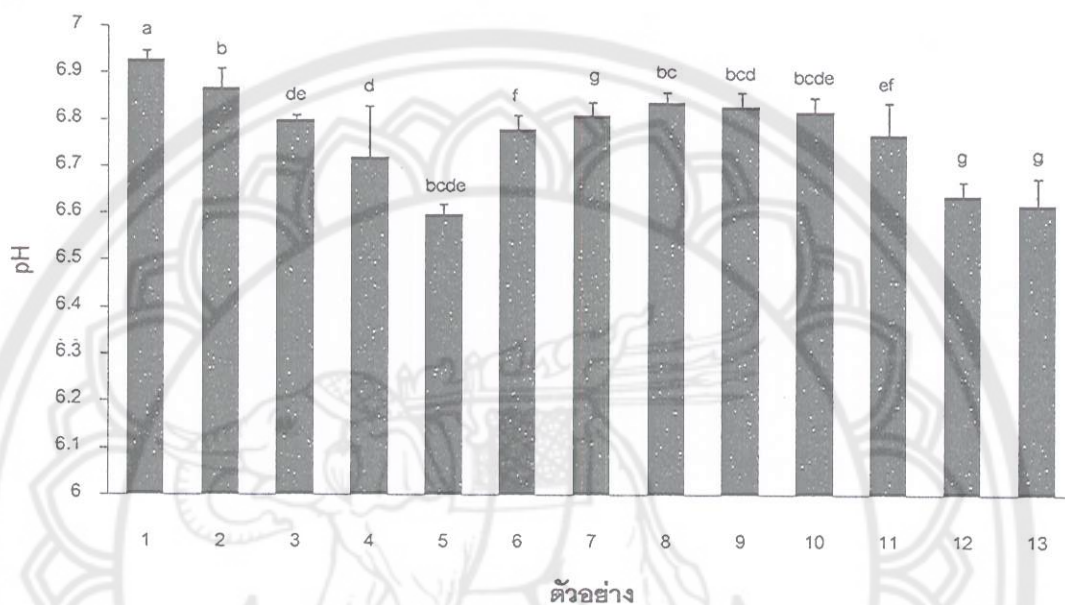
ทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

2. การตรวจสอบสมบัติทางเคมี

2.1 ค่า pH

จากภาพ 8 พบว่าน้ำมันที่ผ่านกระซอนเกรด B น้ำมันที่ผ่านสนามแม่เหล็ก และที่ผ่านหลอดรังสียูวีมีค่า pH น้อยที่สุด คือ ประมาณ 6.6 หรือเข้าใกล้ความเป็นกรดมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันผ่านกระซอนเกรด B เป็นน้ำมันที่อยู่กันถึงภาชนะรองรับ มีตะกอนของรำข้าวอยู่มาก และน้ำมันที่ผ่านสนามแม่เหล็ก และผ่านหลอดรังสียูวี เป็นน้ำมันที่ได้ในขั้นตอนสุดท้าย

ของกระบวนการผลิต ซึ่งน้ำมันมีโอกาสสัมผัสกับความชื้นและอากาศได้มาก จึงเกิดการออกซิเดชันได้มากทำให้เกิดกรดไขมันอิสระได้มากขึ้น ค่า pH ที่วัดได้จึงมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นด้วย



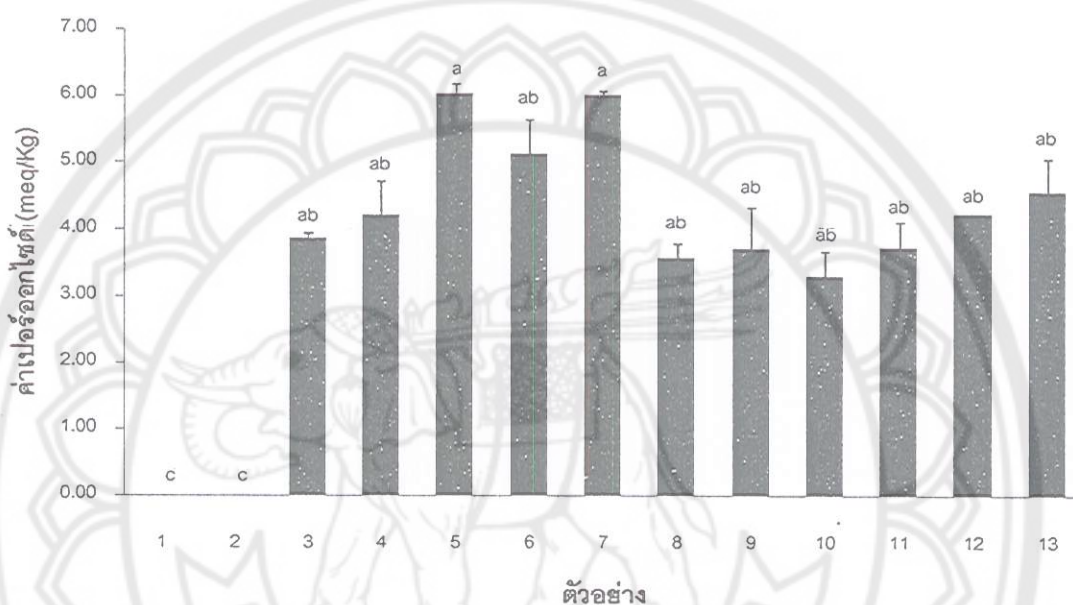
ภาพ 8 ค่า pH ของรำข้าว กากรำ และน้ำมันรำข้าวในกระบวนการผลิต
น้ำมันรำข้าวบีบเย็น

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดัง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากภาพ 9 จะเห็นได้ว่าไม่พบค่าเปอร์ออกไซด์ในรำข้าวและกากรำหลังบีบ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากรำข้าวที่ใช้เป็นรำข้าวขัดสีใหม่และกากรำหลังบีบเป็นวัตถุดิบที่ได้ในขั้นตอนแรกของการผลิตน้ำมันรำข้าว จึงใช้เวลาในการสัมผัสกับออกซิเจนน้อยกว่าน้ำมันในแต่ละขั้นตอนการผลิต ในขั้นตอนต่อไปคือน้ำมันที่ผ่านกระชอน พบว่าเป็นขั้นตอนที่มีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นสูงอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจากน้ำมันในขั้นตอนนี้มีการทิ้งไว้ข้ามคืนก่อนนำไปกรอง ทำให้น้ำมันเกิดการสัมผัสกับออกซิเจนเป็นเวลานาน จึงเกิดการออกซิเดชันได้มาก โดยน้ำมันที่ผ่านกระชอนเกรด B และกากรำบนกระดาษ whatman เบอร์ 91 เกรด B มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุดคือ 6.13 และ 6.02

meq/Kg ตามลำดับ โดยน้ำมันที่ได้ในแต่ละกระบวนการผลิตมีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันรำสำหรับบริโภคกำหนดไว้คือ ไม่เกิน 10 meq/Kg (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวนี้เป็นมาตรฐานของน้ำมันรำข้าวที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่ยังไม่ีมาตรฐานสำหรับน้ำมันรำข้าวบีบเย็น



ภาพ 9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของรำข้าว กากรำ และน้ำมันรำข้าว
ในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

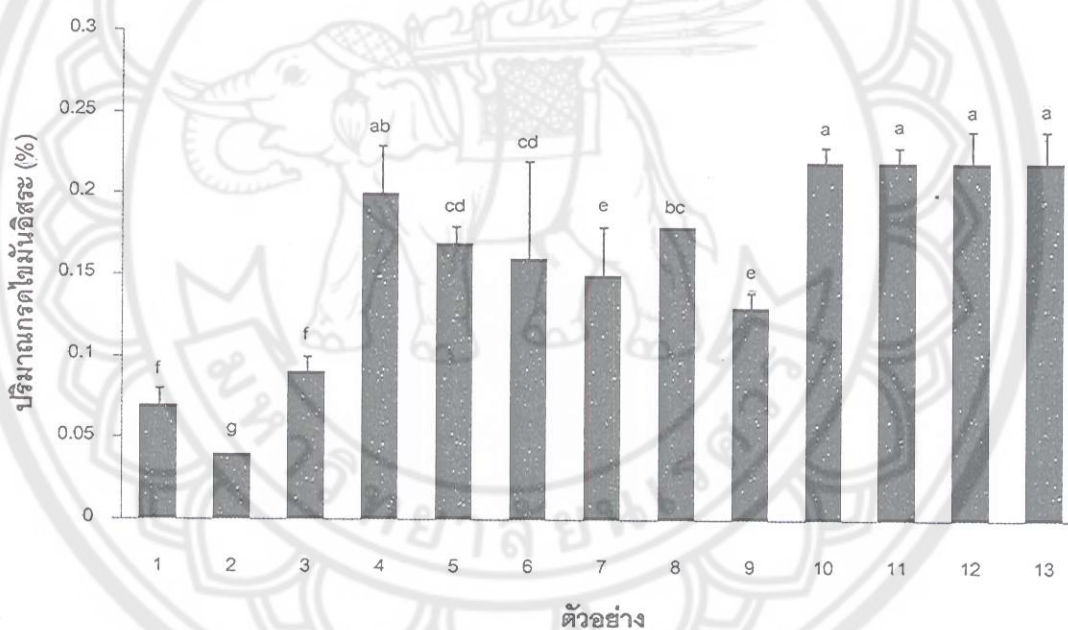
หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

2.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันอิสระ คือ ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระในรูปของกรดไขมันจำเพาะที่มีอยู่ในน้ำมัน การเทียบเป็นกรดไขมันจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามกรดไขมันหลักในน้ำมันนั้นๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันส่วนใหญ่จะคำนวณในรูปของกรดลอริก (น้ำหนักโมเลกุล 200) กรดปาล์มิติก (น้ำหนักโมเลกุล 256) และกรดโอเลอิก (น้ำหนักโมเลกุล 282) ตามลำดับ ค่ากรดและกรดไขมันอิสระเป็นการศึกษากรดไขมันอิสระที่แยกตัวออกจากไตรเอซิลกลีเซอรอล ทั้งสองค่าสามารถใช้ประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพน้ำมัน

ทั้งก่อน-ระหว่าง-หลังตรวจติดตาม ค่ากรดและกรดไขมันอิสระที่สูง แสดงถึงความไม่บริสุทธิ์ของน้ำมัน

จากภาพ 10 จะเห็นได้ว่ากากรำหลังบีบมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0.04 รองลงมาคือ รำข้าวและกากรำบนกระซอน ส่วนน้ำมันรำข้าวผ่านเครื่อง Filter Press ขนาด 0.70 และ 0.25 ไมครอน น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก และน้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุดคือร้อยละ 0.22 โดยรำข้าว กากรำ และน้ำมันรำข้าว ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันรำสำหรับบริโภคกำหนดไว้คือ ร้อยละ 2 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวนี้เป็นมาตรฐานของน้ำมันรำข้าวที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

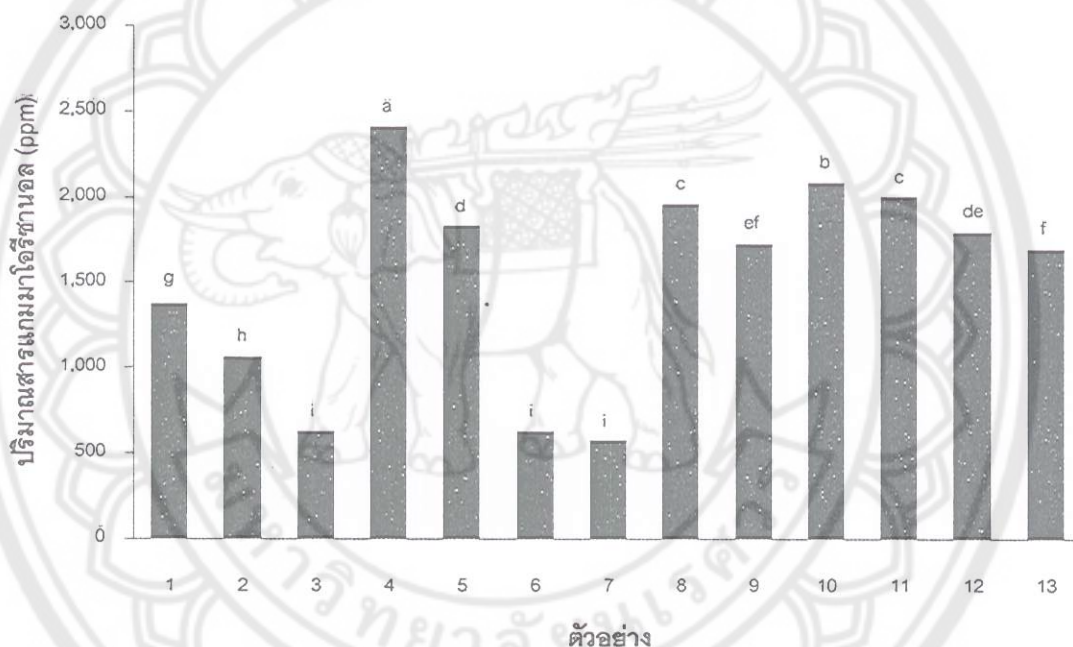


ภาพ 10 ปริมาณกรดไขมันอิสระของรำข้าว กากรำ และน้ำมันรำข้าว
ในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f และ g ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

2.4 ปริมาณสารแกมมาไอริซานอล

จากภาพ 11 พบว่าน้ำมันรำข้าวเริ่มต้น (น้ำมันผ่านกระชอนเกรด A) มีปริมาณสารแกมมาไอริซานอลมากที่สุดคือ 2,410 ppm ซึ่งปริมาณจะลดลงเรื่อยๆ ตามขั้นตอนการผลิตน้ำมันรำข้าว จนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้ายคือการนำน้ำมันผ่านหลอดรังสียูวี พบว่าน้ำมันรำข้าวมีปริมาณสารแกมมาไอริซานอลต่ำที่สุดคือ 1,695 ppm จากน้ำมันรำข้าวเริ่มต้นถึงขั้นตอนสุดท้ายพบว่า สารแกมมาไอริซานอลลดลงร้อยละ 29.67 โดยในขั้นตอนการนำน้ำมันผ่านกระดาษ whatman เบอร์ 91 มีการสูญเสียปริมาณสารแกมมาไอริซานอลมากที่สุดคือร้อยละ 18.63



ภาพ 11 ปริมาณสารแกมมาไอริซานอลของรำข้าว กากรำ และน้ำมันรำข้าว
ในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบิบนเย็น

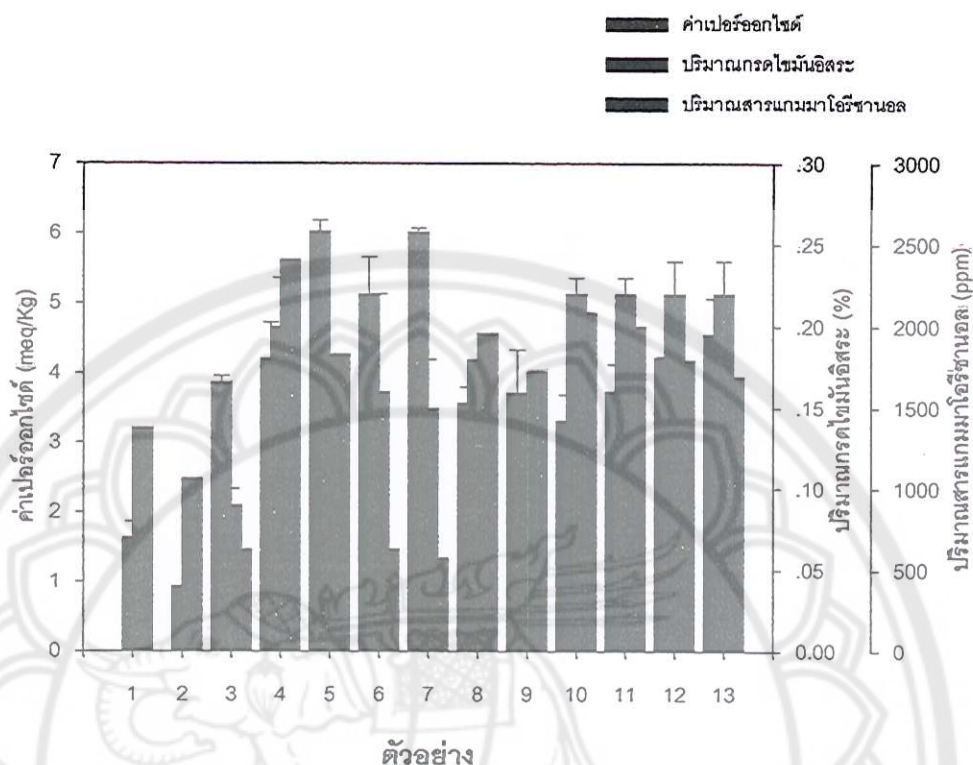
หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c, d, e, f, g, h และ i ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Duncan

ผู้ประกอบการที่สนับสนุนวัตถุดิบให้แก่ผู้วิจัยได้ทำการส่งน้ำมันรำข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต ไปตรวจวัดปริมาณสารแกมมาไอริซานอลที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ด้วยเช่นกัน พบว่าน้ำมันรำข้าวที่ส่งตรวจมี

ปริมาณสารแกมมาไอริซานอลเท่ากับ 1,517 ppm ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ Kumar, et al. (2006) รายงานปริมาณสารแกมมาไอริซานอลในน้ำมันรำข้าวพันธุ์พันธุ์ IR-64 ของอินเดียที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซน พบปริมาณสารแกมมาไอริซานอล 23,900-27,000 ppm โดย Kumar, et al. (2006) อธิบายว่า ปริมาณสารแกมมาไอริซานอลในน้ำมันรำข้าวส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดที่ใช้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของรำข้าวด้วย

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการนำน้ำมันรำข้าวมาผ่านสนามแม่เหล็กเพื่อจัดเรียงโมเลกุลของกรดไขมันและกำจัดกรดไขมันอิสระ นั้นไม่ได้ช่วยให้กรดไขมันอิสระลดลง อีกทั้งปริมาณสารแกมมาไอริซานอลในชั้นตอนนี้ไม่แตกต่างกับขั้นตอนการนำน้ำมันรำข้าวผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งอาจบ่งบอกได้ว่าขั้นตอนการผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่จำเป็นในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบีบเย็น นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าปริมาณแกมมาไอริซานอลจะแปรผกผันกับค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระ ดังภาพ 12 เนื่องจากแกมมาไอริซานอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งการเกิดกรดไขมันอิสระทำให้มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น แกมมาไอริซานอลจึงเข้าไปทำหน้าที่ในการต่อต้านหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเหล่านั้น จึงทำให้ปริมาณของแกมมาไอริซานอลลดลง

ยูวธิดา ครองทรัพย์ (2552) ศึกษาอิทธิพลของปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นในน้ำมันรำข้าวดิบต่อปริมาณแกมมาไอริซานอลคงเหลือในน้ำมันรำข้าวหลังจากผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง พบว่าปริมาณแกมมาไอริซานอลที่ยังคงเหลือ แปรผกผันกับปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นในน้ำมันรำข้าวดิบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้



ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแอมมาไอรีซานอลกับค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณกรดไขมันอิสระ

3. การตรวจสอบสมบัติทางจุลชีววิทยา

Yeast มีทั้งชนิดที่ต้องการและไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง โดยสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 42 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังเจริญได้ดีในช่วง pH 4.0-4.5 (นิภา นกแก้ว, 2546) Mold หรือรา สามารถเจริญเติบโตในภาวะที่มีอากาศเท่านั้น ราส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ค่า a_w 0.98-0.99 แต่ค่า a_w ต่ำสุดที่เชื้อราเจริญได้คือ 0.62 ส่วน *Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียชนิดที่สามารถทนต่อสภาวะที่เป็นกรดได้ และทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมอื่นๆ เช่น ความร้อน หรือสภาพ a_w ต่ำ (Duffy, et al., 2000, Deng, Ryu and Beuchat, 1998)

จากภาพ 10 พบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์ในรำข้าว และกากรำ แต่ไม่พบในน้ำมันรำข้าว เนื่องจากน้ำมันมีค่า a_w ต่ำมาก ซึ่งค่า a_w ของอาหาร เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยค่า a_w ต่ำสุดที่ Yeast & Mold และ *Escherichia coli* เจริญได้คือ 0.61 และ 0.95 ตามลำดับ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตในน้ำมันรำข้าวได้

ตาราง 10 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในตัวอย่างแต่ละขั้นตอนในการผลิตน้ำมันรำข้าวปืบเย็น

ลำดับที่	ตัวอย่าง	Total Plate Count (cfu/g, cfu/ml)	Yeast & Mold (cfu/g, cfu/ml)	Escherichia coli (cfu/g, cfu/ml)	Coliform (cfu/g, cfu/ml)
1	รำข้าว	8.84×10^3	7.86×10^3	<1	6.54×10^4
2	กากรำหึ่งปืบ	4.12×10^4	4.28×10^3	<1	1.97×10^4
3	กากรำบ่มกระชอน	8.75×10^2	7.41×10^2	<1	3.45×10^3
4	น้ำมันผ่านกระชอน A	<1	<1	<1	<1
5	น้ำมันผ่านกระชอน B	<1	<1	<1	<1
6	กากรำบ่มกระดาด Whatman A	9.12×10^2	7.62×10^2	<1	3.26×10^3
7	กากรำบ่มกระดาด Whatman B	5.51×10^2	8.95×10^2	<1	5.91×10^3
8	น้ำมันผ่านกระดาด Whatman A	<1	<1	<1	<1
9	น้ำมันผ่านกระดาด Whatman B	<1	<1	<1	<1
10	น้ำมันผ่านกระดาดกรองขนาด 0.7 mm	<1	<1	<1	<1
11	น้ำมันผ่านกระดาดกรองขนาด 0.25 mm	<1	<1	<1	<1
12	น้ำมันผ่านสนามแม่เหล็ก	<1	<1	<1	<1
13	น้ำมันผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต	<1	<1	<1	<1

ตอนที่ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาและคุณภาพของน้ำมันรำข้าวที่ได้จากการบิบเย็น

นำน้ำมันรำข้าวที่ผ่านกระบวนการบิบเย็นมาบรรจุใส่ในภาชนะบรรจุที่มีจำหน่ายทางการค้าซึ่งประกอบด้วย 1) แคปซูลแบบนิ่มบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิท 2) แคปซูลแบบแข็งบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดสนิท 3) ถุงพลาสติกชนิด LDPE และ 4) ขวด PET แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน ทำการทดสอบสมบัติของน้ำมันรำข้าวทุกๆ 1 เดือน ได้ผลดังนี้

1. การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

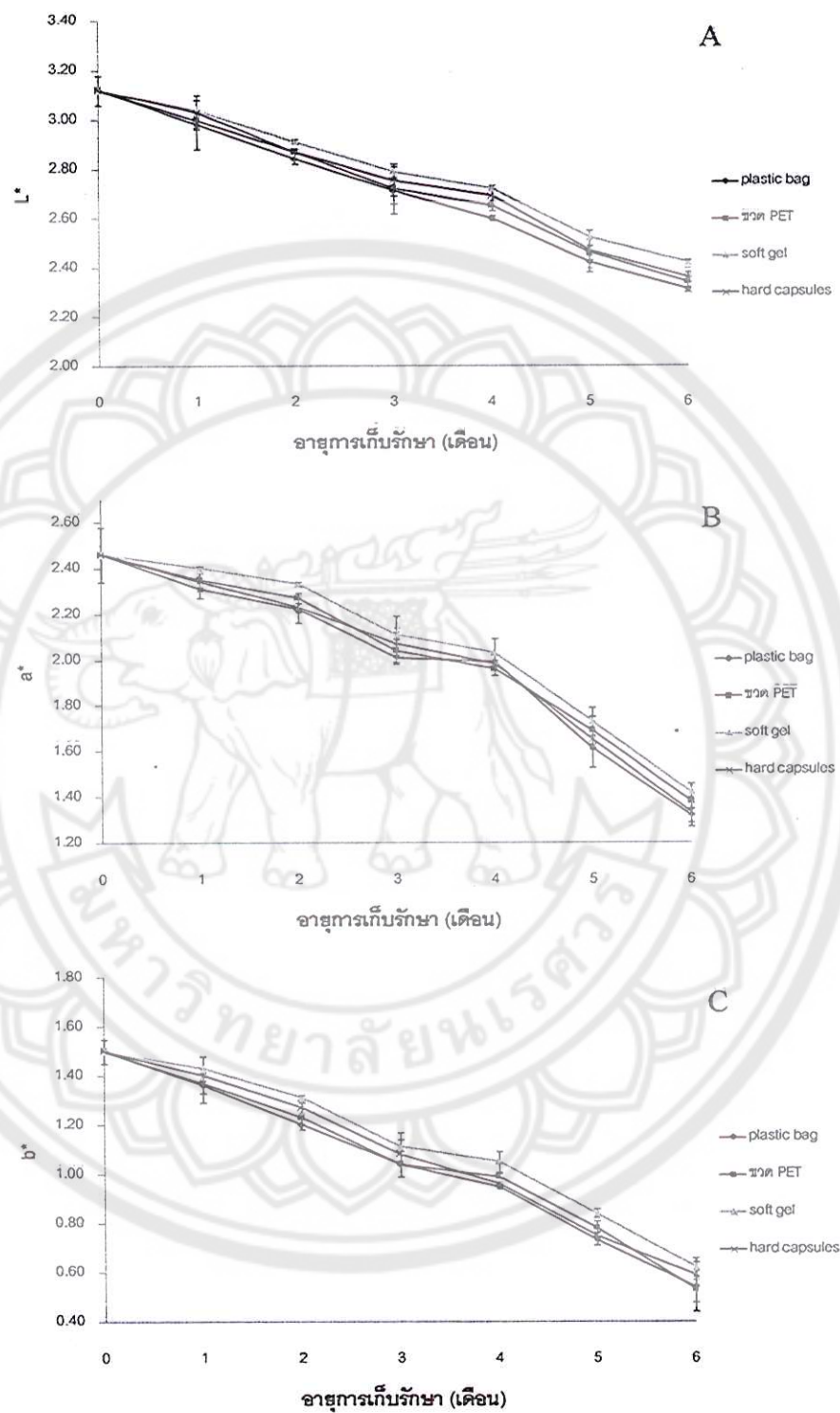
1.1 ค่าสี

จากภาพ 13 เมื่อเปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มมีค่า L^* มากที่สุด ส่วนน้ำมันที่บรรจุในถุงพลาสติกมีค่า L^* ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น L^* หรือค่าความสว่างจะมีค่าลดลง โดยน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE ของเดือนสุดท้ายในการเก็บรักษามีค่า L^* น้อยที่สุดคือ 2.31

พิจารณาค่า a^* เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มมีค่า a^* มากที่สุด และน้ำมันที่บรรจุในถุงพลาสติกมีค่า a^* ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น a^* จะมีค่าลดลง ซึ่งน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และแคปซูลแบบแข็งของเดือนสุดท้ายในการเก็บรักษามีค่า a^* น้อยที่สุด

พิจารณาค่า b^* เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มมีค่า b^* มากที่สุด และน้ำมันที่บรรจุในถุงพลาสติกมีค่า b^* ต่ำสุด เช่นเดียวกับค่า L^* และ a^* ดังที่กล่าวมา เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น b^* จะมีค่าลดลง โดยน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE และขวดโพลีเอทิลีนของเดือนสุดท้ายในการเก็บรักษามีค่า b^* น้อยที่สุด

จากการรายงานค่าสีทั้งหมดที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มจะมีสีอ่อนที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากแคปซูลแบบนิ่มมีลักษณะเป็นเฮอริมาติกซีล (Hermatic Sealed) ซึ่งน้ำและอากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ จึงเกิดออกซิเดชันได้น้อย ส่วนน้ำมันที่บรรจุในถุงพลาสติกจะมีสีของน้ำมันเข้มที่สุด เนื่องจากน้ำมันที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE ยังมีอากาศหลงเหลืออยู่และอากาศสามารถซึมผ่านถุงพลาสติกเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ จึงส่งผลให้สีของน้ำมันเข้มขึ้นด้วย



ภาพ 13 ค่าสีของน้ำมันรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

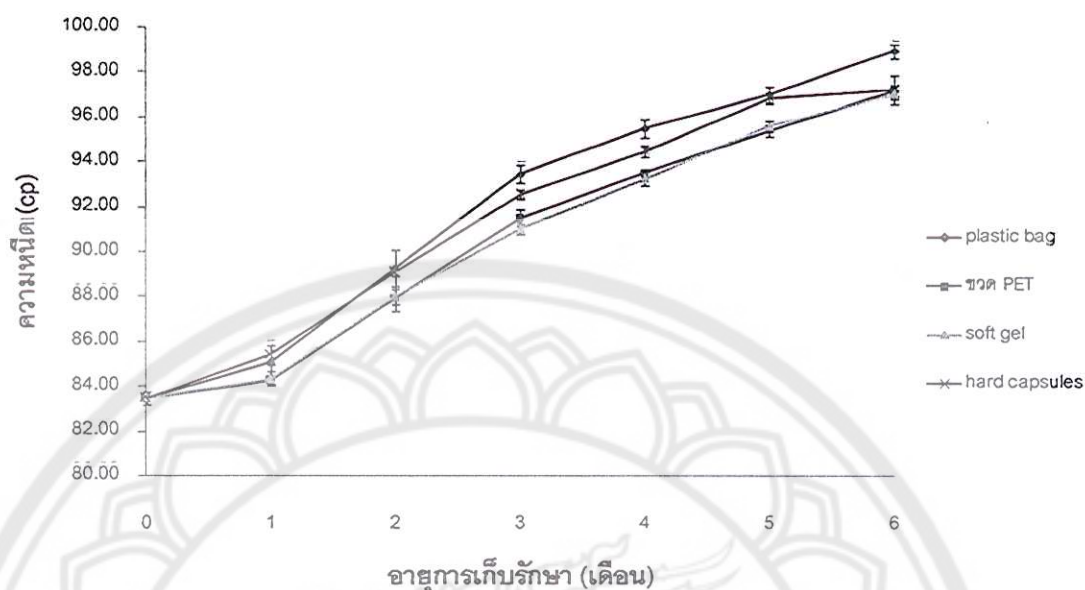
หมายเหตุ: กำหนดให้ A คือ L^* , B คือ a^* และ C คือ b^*

1.2 ความหนืด

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างโมเลกุล ความดัน อุณหภูมิ สิ่งเจือปน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความหนืดของ น้ำมันที่วัดได้ในระหว่างการเก็บรักษา

ภาพ 14 เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE มีค่าความหนืดสูงที่สุด ส่วนน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในขวด PET และแคปซูลแบบนิ้มมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากอากาศสามารถซึมผ่านถุงพลาสติกชนิด LDPE และในถุงยังพบว่ามีฟองอากาศอยู่ ออกซิเจนจากอากาศจะไปเร่งการเสื่อมสภาพของน้ำมัน ทำให้น้ำมันแตกตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และสร้างเป็นสารโพลิเมอร์ในน้ำมัน ซึ่งสารโพลิเมอร์เหล่านี้ส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดมากขึ้น (Boulifi, et al., 2013) ส่วนขวด PET และแคปซูลแบบนิ้มอากาศไม่สามารถซึมผ่านได้จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยกว่า

เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า ความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดย Boulifi, et al. (2013) ได้รายงานเกี่ยวกับความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าว พบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าวมีความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 4.14 ถึง 5.03 mm²/s หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 เดือน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ และตั้งข้อสังเกตว่า กระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ พันธะคู่จากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) เกิดการอิมตัวและทำให้ตัวอย่างมีน้ำหนักโมเลกุลมาก และเมื่อเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีความหนืดมากขึ้น โดยงานวิจัยดังกล่าวให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

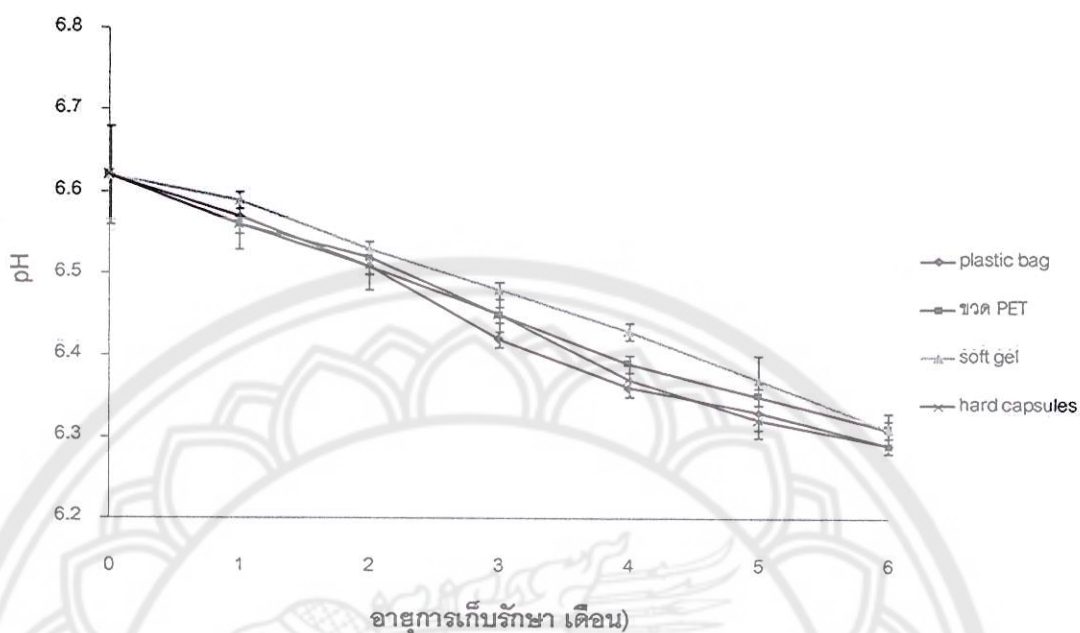


ภาพ 14 ความชื้นของน้ำมันรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

2. การตรวจสอบสมบัติทางเคมี

2.1 ค่า pH

จากภาพ 15 เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันรำข้าวมีค่า pH ไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่า น้ำมันรำข้าวมีค่า pH ลดลง นั่นคือน้ำมันรำข้าวเข้าใกล้ความเป็นกรดมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีโอกาสสัมผัสกับความชื้นและอากาศได้มากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มาก ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระได้มากขึ้น จึงส่งผลให้น้ำมันรำข้าวมีความเป็นกรดมากขึ้น



ภาพ 15 ค่า pH ของน้ำมันรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากภาพ 16 เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มมีค่าเปอร์ออกไซด์น้อยที่สุด น้ำและอากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ จึงเกิดออกซิเดชันได้น้อย ในขณะที่น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบแข็งและถุงพลาสติกชนิด LDPE มีค่าเปอร์ออกไซด์มากที่สุด ทั้งนี้แคปซูลแบบแข็งมี 2 ส่วนคือตัวแคปซูลและฝาปิด เมื่อบรรจุน้ำมันรำข้าวแล้วจะนำทั้งสองส่วนมาประกบกัน ทำให้น้ำและอากาศมีโอกาสเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ส่วนถุงพลาสติกชนิด LDPE ที่บรรจุน้ำมันรำข้าวยังพบว่ามีอากาศเข้าไปอยู่ในถุงด้วย นอกจากนี้อากาศสามารถซึมผ่านถุงพลาสติกชนิด LDPE ได้ง่าย จึงทำให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับน้ำมันได้

เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดในเดือนที่ 2 โดยน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบแข็งของเดือนที่ 6 มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุดคือ 300.04 meq/Kg จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ตั้งแต่เดือนที่ 1 เป็นต้นไปน้ำมันรำข้าวมีค่าเปอร์ออกไซด์เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันรำสำหรับบริโภคกำหนดไว้คือ ไม่เกิน 10 meq/Kg (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516) โดยผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang, et al. (2010) โดยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ

ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันดอกทานตะวันที่เสริมกรดคาร์โนลิก เปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 21 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างครบกำหนด น้ำมันดอกทานตะวันที่ไม่ได้เติมสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงถึง 272 meq/Kg



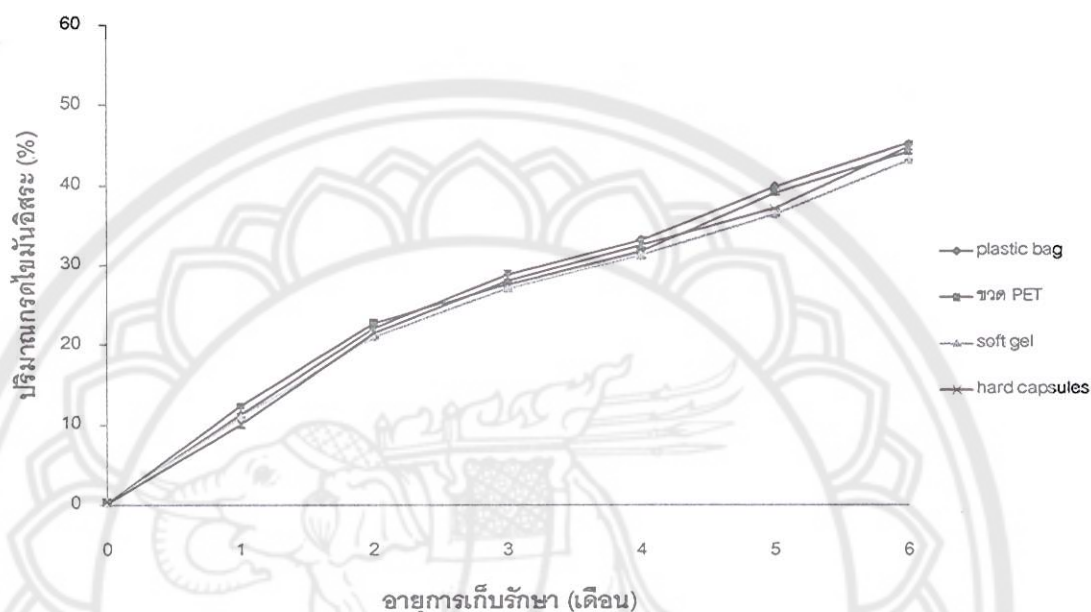
ภาพ 16 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

2.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ภาพ 17 เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยที่สุด เนื่องจากน้ำและอากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปได้จึงเกิดออกซิเดชันได้น้อย ส่วนน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุด เนื่องจากอากาศสามารถซึมผ่านถุงพลาสติกได้ง่าย และพบว่ายังมีอากาศอยู่ในถุงพลาสติก จึงทำให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับน้ำมันได้

เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกของเดือนที่ 6 มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุดคือ ร้อยละ 45.27 จากกราฟสังเกตได้ว่า ตั้งแต่เดือนที่ 1

เป็นต้นไป น้ำมันรำข้าวมีปริมาณกรดไขมันอิสระเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ไม่ให้เกินร้อยละ 2 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516)

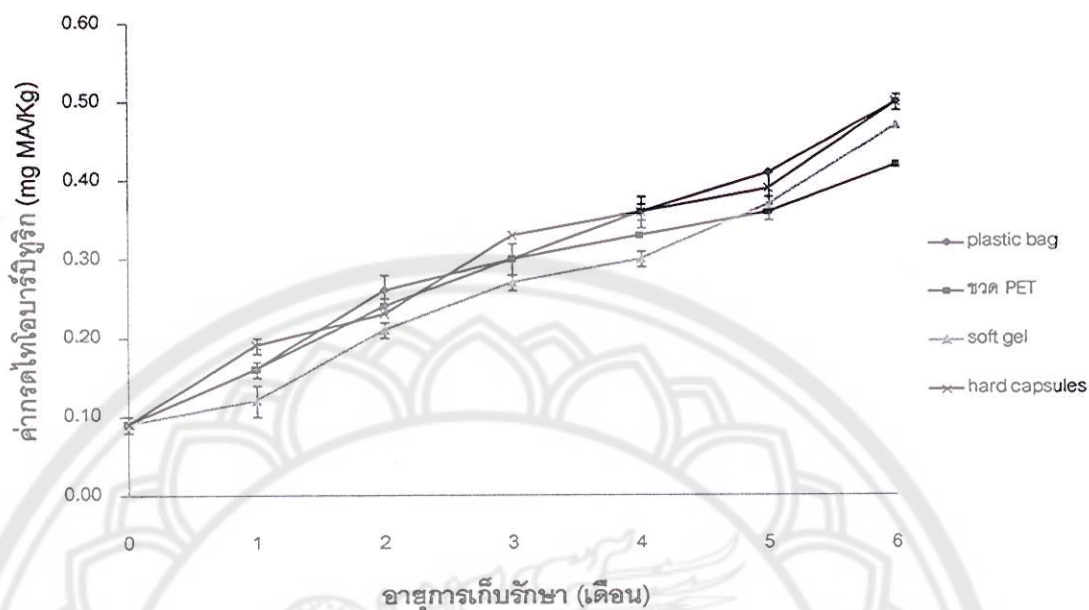


ภาพ 17 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

2.4 ค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริก

ภาพ 18 เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มของแต่ละเดือนมีค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริกน้อยที่สุด ส่วนน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบแข็งมีค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริกมากที่สุด ยกเว้นเดือนที่ 2 ซึ่งค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริกเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความหืนของน้ำมัน โดยแสดงให้เห็นว่าน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มมีความหืนต่ำสุดและในแคปซูลแบบแข็งมีความหืนมากที่สุด

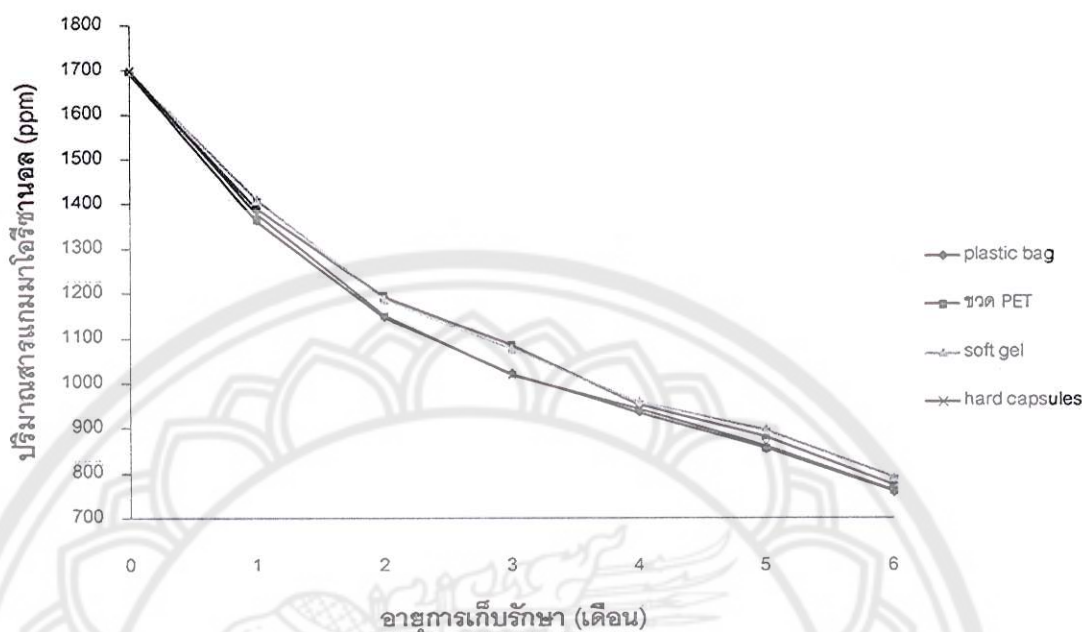
เปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า ค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริกจะแปรผันตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในเดือนที่ 6 น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกและแคปซูลแบบแข็งมีค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริกสูงที่สุด คือ 0.50 mg MA/Kg โดยค่ากรดโทโอบาร์บิทรูริกยังไม่มีมาตรฐานในน้ำมันรำสำหรับบริโภค



ภาพ 18 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริกของน้ำมันรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

2.5 ปริมาณสารแกมมาโอริซานอล

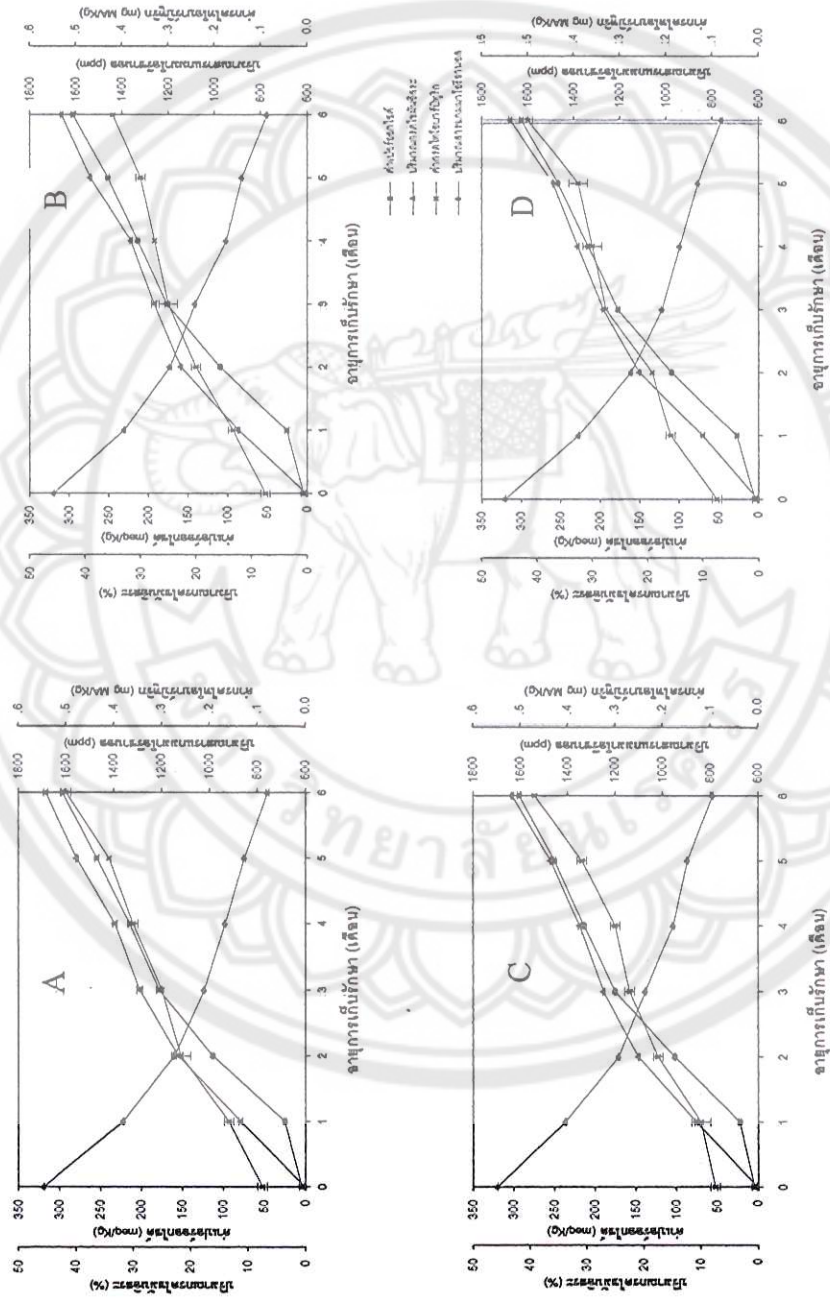
ภาพ 19 เปรียบเทียบการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวในภาชนะบรรจุต่างๆ พบว่า น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในแคปซูลแบบนิ่มของแต่ละเดือนยังคงปริมาณสารแกมมาโอริซานอลไว้ได้มากที่สุด รองลงมาคือขวดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวพบว่า ปริมาณสารแกมมาโอริซานอลจะแปรผกผันกับระยะเวลาการเก็บรักษา โดยน้ำมันรำข้าวที่บรรจุในถุงพลาสติกของเดือนที่ 6 มีปริมาณสารแกมมาโอริซานอลคงเหลืออยู่น้อยที่สุดคือ 758 ppm



ภาพ 19 ปริมาณสารแกมมาไฮดรอกซีออกไซด์ของน้ำมันรำข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าน้ำมันที่บรรจุในแคปซูลแบบนุ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยที่สุด รองลงมาคือน้ำมันที่บรรจุในขวด PET เนื่องจากแคปซูลแบบนุ่มมีลักษณะเป็นเฮอริมาติกซีล น้ำและอากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ และขวด PET สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ความชื้น และกลิ่นได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังทนต่อไขมัน และน้ำมันได้ดีอีกด้วย ส่วนน้ำมันที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด LDPE พบว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด เนื่องจากผ่านถุงพลาสติกชนิด LDPE ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศได้ จึงทำให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับน้ำมันได้

เมื่อพิจารณาค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่ากรดโทโอบาร์บิทูริก สังเกตได้ว่าทั้งสามค่านี้จะให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือ แปรผันตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่จะแปรผกผันกับปริมาณสารแกมมาไฮดรอกซีออกไซด์ ดังภาพ 20 นอกจากนี้ยังพบว่าตั้งแต่เดือนที่ 1 เป็นต้นไป น้ำมันรำข้าวที่บรรจุในทุกภาชนะบรรจุมีค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระเกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันรำสำหรับบริโภคกำหนดไว้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2516) ดังนั้นน้ำมันรำข้าวที่เก็บไว้เกิน 1 เดือนจึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาบริโภค



ภาพ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแกมมาไฮดรอกซีกับค่าเปอร์เซ็นต์ไอน้ำอิสระ และกรดไพโอบาร์บิทริก

หมายเหตุ: กำหนดให้ A คือ plastic bag, B คือ ขวด PET, C คือ soft gel และ D คือ hard capsules

3. การตรวจสอบสมบัติทางจุลชีววิทยา

จากการตรวจสอบจำนวน Total Plate Count, Yeast & Mold, *Escherichia coli* และ *Coliform Bacteria* ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดนี้ในน้ำมันรำข้าว ดังตาราง 11, 12, 13 และ 14 เนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีค่า water activity (a_w) ต่ำมาก ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตในน้ำมันรำข้าวได้

ตาราง 11 จำนวน Total Plate Count ที่ตรวจพบในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าว
บีบเย็น

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	Total Plate Count (cfu/ml)			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	<1	<1	<1	<1
1	<1	<1	<1	<1
2	<1	<1	<1	<1
3	<1	<1	<1	<1
4	<1	<1	<1	<1
5	<1	<1	<1	<1
6	<1	<1	<1	<1

ตาราง 12 จำนวน Yeast & Mold ที่ตรวจพบในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวบิบเย็น

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	Yeast & Mold (cfu/ml)			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	<1	<1	<1	<1
1	<1	<1	<1	<1
2	<1	<1	<1	<1
3	<1	<1	<1	<1
4	<1	<1	<1	<1
5	<1	<1	<1	<1
6	<1	<1	<1	<1

ตาราง 13 จำนวน *Escherichia coli* ที่ตรวจพบในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวบิบเย็น

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	<i>Escherichia coli</i> (cfu/ml)			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	<1	<1	<1	<1
1	<1	<1	<1	<1
2	<1	<1	<1	<1
3	<1	<1	<1	<1
4	<1	<1	<1	<1
5	<1	<1	<1	<1
6	<1	<1	<1	<1

ตาราง 14 จำนวน *Coliform Bacteria* ที่ตรวจพบในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าว
บีบเย็น

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	<i>Coliform Bacteria</i> (cfu/ml)			
	Plastic bag	ขวด PET	Soft gel	Hard capsules
0	<1	<1	<1	<1
1	<1	<1	<1	<1
2	<1	<1	<1	<1
3	<1	<1	<1	<1
4	<1	<1	<1	<1
5	<1	<1	<1	<1
6	<1	<1	<1	<1