



ผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่ผ่านการเอสเทอร์ริฟิเคชันและมีโครงสร้างที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำต่อสมบัติเชิงรีโอโลยีและความคงตัวของน้ำสลัด

Effect of amphiphilic esterified maltodextrin on rheological properties and stability of salad dressing

คันสนีย์ อุดมระติ^{1*} วิภา สุโรจนเมธากุล¹ สุภักชนม์ คล่องดี² และ นพรัตน์ ชีทางดี³

¹ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

²ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

³ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Sunsanee Udomrati^{1*} Vipa Surojanametakul¹ Supakchon Klongdee² and Nopparat Cheethangdee³

¹Department of Food Chemistry and Physics, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand.

²Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand.

³Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand

*Corresponding Author, E-mail: ifrsnu@ku.ac.th

Received: 30 May 2019 | Revised: 30 October 2019 | Accepted: 19 November 2019

บทคัดย่อ

การใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) และมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเตท (DE9_P) ที่ความเข้มข้น 0.5-3% (w/w) ในน้ำสลัดพบว่า น้ำสลัดที่ใช้ DE9 และ DE9_P ที่ความเข้มข้น 0.5% (w/w) มีสีใกล้เคียงกับน้ำสลัดควบคุม (ไม่มี DE9 หรือ DE9_P) น้ำสลัดมีแนวโน้มมีสีคล้ำขึ้นเมื่อความเข้มข้น DE9_P เพิ่มขึ้น น้ำสลัดทุกตัวอย่างมีสีน้ำตาลคล้ำเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ค่า pH และ ความหนืดของน้ำสลัดทุกตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ ในขณะที่ขนาดเฉลี่ยของเม็ดไขมันในน้ำสลัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา การใช้ DE9 และ DE9_P เป็นส่วนประกอบในน้ำสลัดทำให้น้ำสลัดมีค่าความหนืด และค่าดัชนีการไหล (flow behavior index: $n_{emulsion}$) เพิ่มขึ้น กล่าวคือน้ำสลัดที่มี DE9 หรือ DE9_P แสดงพฤติกรรมการไหลใกล้เคียงของไหลแบบนิวโตเนียนมากกว่าน้ำสลัดสูตรควบคุม ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า $n_{emulsion}$ ในน้ำสลัดทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) น่าจะเป็นเพราะน้ำสลัดมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการเติม DE9 หรือ DE9_P เป็นการช่วยปรับลักษณะความหนืดและเนื้อสัมผัสของน้ำสลัด ส่วนการช่วยในเรื่องการรักษาความคงตัวของอิมัลชันเห็นผลไม่ชัดเจนเนื่องจากน้ำสลัดสูตรควบคุมมีความคงตัว

ABSTRACT

The applications of native maltodextrin with dextrose equivalent of 9 (DE9) and amphiphilic esterified maltodextrin DE9 palmitate (DE9_P) with concentration of 0.5-3% (w/w) in salad dressing were investigated in terms of stability and rheological properties. The color of salad dressing containing 0.5% (w/w) of DE9 or DE9_P was similar to control sample (no adding of DE9 or DE9_P). DE9 and DE9_P with concentration of 1.5 and 3% (w/w) induced darker yellow color of salad dressing. There was no change in pH value and viscosity and the small increase of average oil droplets size was observed for all samples during storage. The viscosity and flow behavior index ($n_{emulsion}$) of salad dressing were increased as DE9 or DE9_P was applied. Salad dressing containing DE9 or DE9_P exhibited Newtonian flow behavior more obviously than control sample. There was no change in $n_{emulsion}$ of all samples throughout storage time of 6 weeks because all salad dressing samples (including control sample) were stable. Hence, the function of DE9_P for emulsion stabilization enhancement was not clearly observed. DE9 and DE9_P may use to adjust the viscosity and the textural characteristics of salad dressing.

คำสำคัญ: ความคงตัวของอิมัลชัน ปาล์มิเตท มอลโทเดกซ์ทรินเอสเทอร์ รีโอโลยี น้ำสลัด

Keywords: Emulsion stability, Palmitate, Esterified maltodextrin, Rheology, Salad dressing

บทนำ

อิมัลชันชนิดไขมันในน้ำประกอบด้วยส่วนของไขมันซึ่งเป็นวัฏภาคกระจายตัว (oil dispersion phase) ส่วนของน้ำซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) สารลดแรงตึงผิว (surfactant) และ/หรือ สารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารลดแรงตึงผิวที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ Tween 20 และ Tween 80 เป็นต้น ซึ่งสารลดแรงตึงผิวเหล่านี้สามารถรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ในระยะเวลายาวโดยการลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์การอาหารจึงนำพอลิแซ็กคาไรด์มาใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวเพื่อช่วยยืดความคงตัวของอิมัลชันให้นานขึ้น โดยพอลิแซ็กคาไรด์เพิ่มความหนืดของวัฏภาคต่อเนื่อง จึงขัดขวางการเกาะกลุ่ม (flocculation) การหลอมรวมตัว (coalescence) ของเม็ดไขมันและยับยั้งการแยกวัฏภาค (phase separation) ของวัฏภาคกระจายตัว (disperse phase) ออกจากวัฏภาคต่อเนื่อง พอลิแซ็กคาไรด์ไม่ได้ช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันเพียงอย่างเดียวแต่สามารถทำลายความคงตัวของอิมัลชันด้วยกระบวนการ depletion flocculation (McClements, 2000) เนื่องจากโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ไม่สามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) บนบริเวณผิวของเม็ดไขมันได้เนื่องจากโมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic part) เพียงอย่างเดียวทำให้บริเวณช่องแคบรอบเม็ดไขมันไม่มีโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์

จึงเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ระหว่างบริเวณช่องแคบและในวัฏภาคต่อเนื่อง โมเลกุลน้ำไหลออกจากส่วนช่องแคบทำให้เกิดแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ดึงดูดให้เม็ดไขมันเคลื่อนที่เข้าหากันเกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation) ของเม็ดไขมัน (McClements, 2005) และเหนี่ยวนำทำให้เม็ดไขมันเกิดการหลอมรวมตัว (coalescence) ในเวลาต่อมา

โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยส่วนที่ละลายได้ในน้ำ (hydrophilic) ทำให้ไม่สมารถเป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ในระบบอิมัลชัน นักวิจัยจึงพยายามสังเคราะห์พอลิแซ็กคาไรด์ให้มีส่วนที่ละลายได้ในน้ำ และส่วนละลายได้ในไขมัน (lipophilic) ในโมเลกุล ซึ่งเรียกว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ (amphiphilic polysaccharide) ในธรรมชาติเองก็มีพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำและละลายได้ในไขมันในโมเลกุล เช่น กัมอะราบิก กลไกการรักษาความคงตัวของอิมัลชันของพอลิแซ็กคาไรด์ดั้งเดิม (native polysaccharide) แตกต่างจากพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำคือโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ดั้งเดิมจะกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของน้ำเพียงอย่างเดียวและทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืดเท่านั้น ในขณะที่ส่วนที่ละลายได้ในไขมันบนโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำสามารถเกิดปฏิกิริยาและยึดติดบนบริเวณ

พื้นผิวของเม็ดไขมัน และสายโมเลกุลส่วนที่ละลายได้ในน้ำยืดออกมาและกระจายตัวอยู่ในวัฏจักรของน้ำล้อมรอบเม็ดไขมัน ทำให้ขัดขวางการเกาะกลุ่มของเม็ดไขมัน จึงสามารถรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ดีกว่าพอลิแซ็กคาไรด์ดั้งเดิมเนื่องจากสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งสารเพิ่มความหนืดและสารลดแรงตึงผิว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดัดแปรพอลิ-โอลิโกแซคคาไรด์โดยวิธีเอสเทอร์ริฟิเคชันในอดีตส่วนใหญ่มุ่งเน้นดัดแปรพอลิ-โอลิโกแซคคาไรด์โดยใช้สารเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้มีค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution: DS) สูงเพื่อผลิตเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic film) (Aburto et al., 1999; Shogren et al., 2010; Fundador et al., 2012) โดยพอลิ-โอลิโกแซคคาไรด์เหล่านี้มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก จึงไม่สามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแบบอิมัลชันไขมันในน้ำได้ การดัดแปรโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการดัดแปรพอลิแซคคาไรด์เอสเทอร์เนื่องจากกระบวนการดัดแปรกระทำภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรงทั้งความดันและอุณหภูมิ โมเลกุลพอลิแซคคาไรด์จึงไม่ถูกทำลาย (van den Broek and Boeriu, 2013) และการดัดแปรโดยการใช้น้ำเอนไซม์ยังช่วยลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งเป็นการดีถ้าผลิตพอลิแซคคาไรด์เอสเทอร์เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารและยา (Kaewprapan et al., 2012) ในปัจจุบันงานวิจัยที่ศึกษาการดัดแปรพอลิ-โอลิโกแซคคาไรด์ด้วยวิธีเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังมีน้อย โดย Udomrati and Gohtani (2014) ศึกษาการดัดแปรมอลโทเดกซ์ทรินโดยวิธีเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 4 ชั่วโมง ได้มอลโทเดกซ์ทรินเอสเทอร์มีค่า DS อยู่ในช่วง 0.015-0.084 และยังคงมีความสามารถในการละลายน้ำสูง (ประมาณ 86%) Udomrati et al. (2016) ศึกษากระบวนการอิมัลชันชนิดไขมันในน้ำโดยใช้มอลโทเดกซ์ทริน DE9 ปาล์มิตเป็นอิมัลซิไฟเออร์ พบว่ากระบวนการอิมัลชันชนิดไขมันในน้ำมีความเสถียรในระหว่างเก็บรักษา อัตราการเกิดการหลอมรวมตัวต่ำและไม่พบการแยกชั้นไขมันและน้ำ เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเอสเทอร์ที่ความเข้มข้นมากกว่า 30% (w/w) โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้มอลโทเดกซ์ทรินเอสเทอร์เพื่อเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำสลัด โดยตรวจสอบความคงตัว และตรวจวัดสมบัติเชิงรีโอโลยี (Rheological properties) ของน้ำ

สลัดในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการเสถียรภาพของอิมัลชัน เช่นการเกาะกลุ่ม (flocculation) และการหลอมรวมตัว (coalescence) ของเม็ดไขมันสามารถอธิบายด้วยสมบัติเชิงรีโอโลยี (McClements, 2005; Udomrati et al., 2013)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

มอลโทเดกซ์ทรินจากมันสำปะหลัง ที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส (Dextrose equivalent: DE) เท่ากับ 9 (DE9) เอนไซม์ไลเปสจาก *Thermomyces lanuginosus* ซื้อจากบริษัท Sigma-Aldrich ความเข้มข้นของเอนไซม์เท่ากับ 2% (w/v) และมี enzyme activity ประมาณ 100,000 U/g น้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ได้เติมสารกันหืน (antioxidants) และวัตถุเจือปนในอาหารได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทมรกต อินดัสเทรียล จำกัด สารเคมีที่ใช้ในการทดลองเป็นเกรดที่ใช้ในงานวิเคราะห์

2. วิธีเตรียมมอลโทเดกซ์ทรินปาล์มิต

การดัดแปรมอลโทเดกซ์ทรินเอสเทอร์ทำตามวิธีของ Udomrati et al. (2014) มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันร่วมกับกรดไขมันปาล์มิติก (C-16) โดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนมอลโทเดกซ์ทรินและกรดปาล์มิติกใน เท่ากับ 1:0.5 (mole of glucose unit/mole of palmitic acid) ซึ่งมอลโทเดกซ์ทริน 1 กรัมละลายใน dimethyl sulfoxide (DMSO) 2 มิลลิลิตร กวนด้วย magnetic stirrer จนมอลโทเดกซ์ทรินละลายหมด จากนั้นเติมกรดปาล์มิติกกวนต่อบน magnetic stirrer จนเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำมันถั่วเหลือง 350 ไมโครกรัม บ่มในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °C นาน 4 ชั่วโมง กวนตลอดเวลา ตกตะกอนมอลโทเดกซ์ทรินเอสเทอร์ด้วยเอทานอล 8 มิลลิลิตร และเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที นาน 5 นาที ล้างตะกอนด้วยเอทานอล 3 ครั้ง ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C

3. วิธีเตรียมน้ำสลัด

ผสมน้ำส้มสายชู น้ำตาล มัสตาร์ด เกลือและวัตถุดิบเสียในภาชนะ จากนั้นคนเพื่อละลายส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือ มอลโทเดกซ์ทริน DE9 ปาล์มิต (DE9_P) ที่ละน้อย ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.5 และ 3% (w/w) กวนผสมจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ใส่ไข่แดงและส่วนผสมที่ละลาย

แล้วลงในโถปั่นเครื่องปั่น ปั่นด้วยความเร็วสูง 3 นาที จนไข่แดงเป็นสีเหลืองนวล จากนั้นเทน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ใส่สารกันหืนและวัตถุเจือปนในอาหารทีละน้อย ลงในโถปั่นจนหมด แล้วปั่นต่อด้วยความเร็วสูงประมาณ 8 นาที

สูตรการเตรียมน้ำสลัดเป็นดังนี้

ส่วนประกอบ	% (w/w)
น้ำส้มสายชู	18
ไข่แดง	6
น้ำตาล	23
เกลือ	1.8
มัสตาร์ด	3
วัตถุกันเสีย (Potassium sorbate)	0.1
น้ำมันถั่วเหลือง	48
มอลโทเดกซ์ทรีน (DE9) หรือ มอลโทเดกซ์ทรีนปาล์มิเตท (DE9_P)	0.5, 1.5, และ 3

วัด pH ของน้ำสลัด โดยชั่งน้ำสลัด 1 กรัม ลงในปิกรอร์ 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกรอง 10 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งแก้วคนและวัด pH ในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยเครื่อง pH meter

4. ศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรีน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรีน DE9 ปาล์มิเตท (DE9_P) ต่อความคงตัวของน้ำสลัด

4.1. วัดขนาดของเม็ดไขมัน โดยหยดน้ำสลัดลงในสารละลาย Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) 1% (w/w) กวนด้วยใบพัดตลอดเวลาเพื่อให้เม็ดไขมันกระจายตัวเป็นอนุภาคเดี่ยวๆ ตรวจวัดขนาดเฉลี่ยของเม็ดไขมันด้วยเครื่อง Laser diffraction particle size analyzer (Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., UK) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 6 สัปดาห์

4.2. การเร่งการแยกชั้นไขมันโดยใช้แรงเหวี่ยง (accelerated centrifugal creaming separation) เนื่องจากน้ำสลัดที่ทำการศึกษามีความหนืดสูง การแยกชั้นไขมันเกิดขึ้นได้ยากจึงใช้แรงหมุนเหวี่ยงเพื่อเป็นการเร่งให้อิมัลชันเกิดการแยกชั้น โดยชั่งน้ำสลัด 10 กรัม ลงในหลอดเซนติพิวักพลาสติกที่มีฝาปิดขนาด 15 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที

เมื่อครบเวลาให้นำหลอดทดลองออกจากเครื่อง วัดความสูงของส่วนใส (serum layer) (H_L) และความสูงของอิมัลชันทั้งหมด (H_E) บันทึกค่า คำนวณค่าดัชนีการแยกชั้นครีม (creaming index) ดังสมการที่ (1) รายงานค่าดัชนีการแยกชั้นครีมของน้ำสลัดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 6 สัปดาห์

$$\text{Creaming index (\%)} = 100 \times H_L/H_E \quad (1)$$

5. ศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโทเดกซ์ทรีน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรีน DE9 ปาล์มิเตท (DE9_P) ต่อสมบัติเชิงรีโอโลยี (rheological properties) ของน้ำสลัด

ตรวจวัดสมบัติเชิงรีโอโลยีของน้ำสลัดที่มีมอลโทเดกซ์ทรีน (DE9) หรือ มอลโทเดกซ์ทรีน DE9 ปาล์มิเตท (DE9_P) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ด้วยเครื่อง rheometer (MCR 302, Anton Paar, Austria) ตามวิธีของ Udomrati and Gohtani (2015) โดยใช้หัววัด cone and plate ขนาด 50 มิลลิเมตร ช่วงอัตราเฉือน (shear rate) $1-225 \text{ s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25°C โดยค่า flow behavior index (n), Yield stress (τ_0) และ consistency index (k) ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Herschel-Bulkley model แสดงดังสมการ (2) ทำการตรวจวัดสมบัติเชิงรีโอโลยีของน้ำสลัดในระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 6 สัปดาห์

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

โดย τ คือค่า shear stress (Pa), τ_0 คือค่า yield stress (Pa), $\dot{\gamma}$ คือค่า shear rate (s^{-1}), n คือค่า flow behavior index (ไม่มีหน่วย), และ k คือค่า consistency index ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) ค่าความหนืดของน้ำสลัดรายงานค่าที่อัตราเฉือน (shear rate) เท่ากับ 130 s^{-1}

6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomize Design: CRD) ทำการทดลอง 2 ครั้ง วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS ถ้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. ศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทริน DE9 (DE9) มอลโทเดกซ์ทริน DE9 ปาล์มิต (DE9_P) ต่อความคงตัวของน้ำสลัด

ค่า pH ของน้ำสลัดสูตรควบคุม (ไม่ใส่ DE9 และ DE9_P) มีค่าประมาณ 3.7-4.0 ส่วนน้ำสลัดที่มีการใช้ DE9 และ DE9_P ที่ความเข้มข้น 0.5-3% (w/w) ค่า pH อยู่ในช่วง 3.7-3.8 และ pH ของน้ำสลัดทุกตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 1) ความหนืดของน้ำสลัดแสดงดังตารางที่ 2 น้ำสลัดสูตรควบคุมมีความหนืดอยู่ในช่วง 850-970 mPa.s การใช้ DE9 และ DE9_P ที่ระดับความเข้มข้น 0.5% (w/w) มีแนวโน้มทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ความหนืดของน้ำสลัดมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ DE9 และ DE9_P เพิ่มขึ้น โดยความหนืดของน้ำสลัดที่มี DE9 และ DE9_P (0.5-3% (w/w)) มีค่าอยู่ในช่วง 900-1170 mPa.s ความหนืดของน้ำสลัดทุกตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่า DE9 และ DE9_P ทนต่อระบบอิมัลชันอาหารที่มีค่า pH ต่ำ (ประมาณ 3.7-4.0) ซึ่งในสภาวะกรดโมเลกุล DE9 และ DE9_P บางส่วนอาจจะถูกไฮโดรไลซิสให้มีโมเลกุลเล็กลง ทำให้ความหนืดของระบบลดลง แต่เนื่องจากความหนืดของน้ำสลัดที่มีการเติม DE9 และ DE9_P ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ น่าจะเป็นเพราะความหนืดเริ่มต้นของตัวน้ำสลัดเอง (สูตรควบคุม) มีค่าสูง จึงทำให้ไม่สามารรถเห็นความแตกต่างของความหนืดที่ลดลงอันเป็นผลจากการที่โมเลกุล DE9 และ DE9_P ถูกไฮโดรไลซิสด้วยกรดอย่างชัดเจน

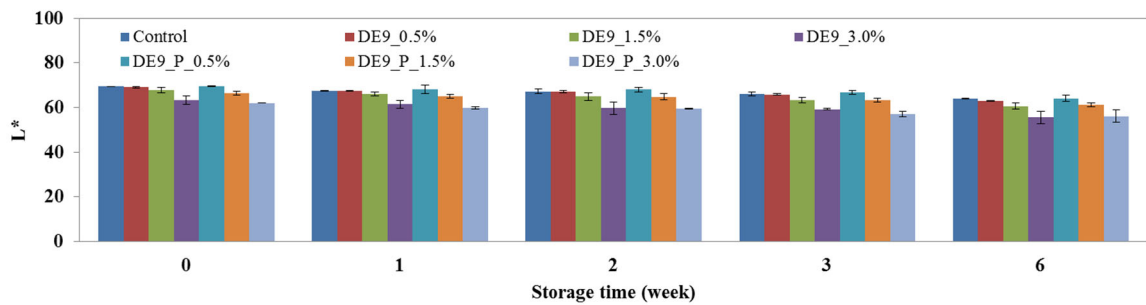
ตรวจวัดสีของน้ำสลัดโดยใช้เครื่องวัดสี (Datacolor

international) ระบบสี CIE LAB แสดงค่า L^* a^* และ b^* โดยค่า L^* คือความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยที่ค่า 0 แสดงถึงความสว่างน้อย และ ค่า 100 แสดงถึงความสว่างมาก ค่า a^* แสดงถึงสีเขียวและสีแดง โดยที่ค่า a^* ที่เป็นลบ (-) แสดงถึงสีเขียว และ a^* ที่เป็นบวก (+) แสดงถึงสีแดง และค่า b^* แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลือง โดยที่ b^* ที่เป็นลบ (-) แสดงถึงสีน้ำเงิน และ b^* ที่เป็นบวก (+) แสดงถึงสีเหลือง จากรูปที่ 1 และ 3 พบว่าน้ำสลัดที่มีการใช้ DE9 และ DE9_P ที่ระดับความเข้มข้น 0.5% (w/w) มีค่า L^* และ $b^*(+)$ ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม เมื่อความเข้มข้น DE9 และ DE9_P เพิ่มขึ้น ค่า L^* และ $b^*(+)$ มีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าน้ำสลัดมีความสว่างและสีเหลืองลดลงเมื่อใช้ DE9 และ DE9_P เพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น น้ำสลัดมีค่า L^* และ $b^*(+)$ ลดลง คือมีสีคล้ำขึ้น จากรูปที่ 2 พบว่าน้ำสลัดที่ใช้ DE9_P ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้น้ำสลัดค่า $a^*(-)$ สีเขียวเพิ่มขึ้น และค่า $a^*(-)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่การใช้ DE9 ทำให้น้ำสลัดมีค่า $a^*(-)$ สีเขียวลดลงเมื่อความเข้มข้นของ DE9 เพิ่มขึ้นและค่า $a^*(-)$ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา

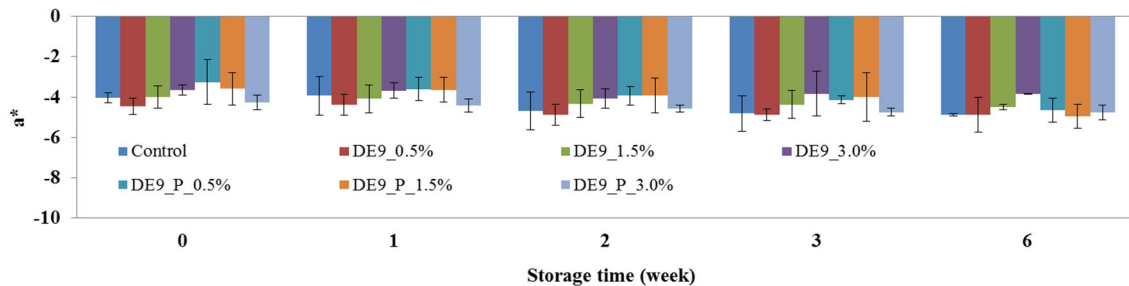
น้ำสลัดทุกตัวอย่างมีสีและลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันมากนักตลอดอายุการเก็บรักษา (รูปที่ 4) การเร่งการแยกชั้นของน้ำสลัดด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อตรวจวัดค่าดัชนีการแยกชั้นครีม (accelerated creaming index) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5 พบว่าน้ำสลัดทุกตัวอย่างมีค่าดัชนีการแยกชั้นครีมอยู่ในช่วง 12-18% และค่าดัชนีการแยกชั้นครีมของแต่ละตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา (0-6 สัปดาห์)

ตารางที่ 1 ค่า pH น้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินปาล์มิต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

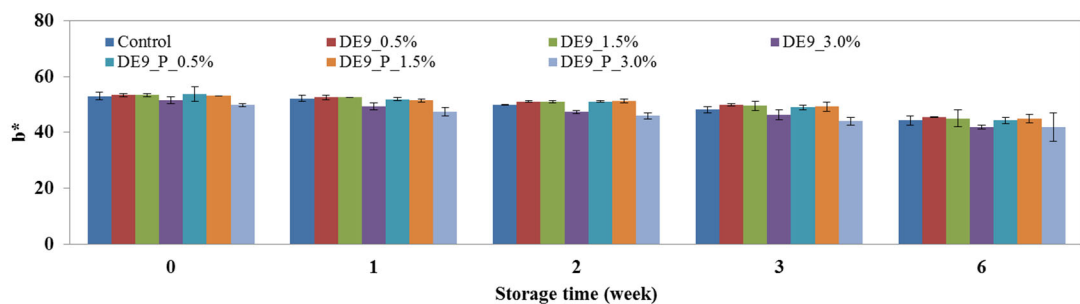
ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)											
	0		1		2		3		4		6	
Control	3.67	±0.01	3.73	±0.01	3.73	±0.02	3.72	±0.04	3.74	±0.04	3.73	±0.03
DE9_0.5%	3.78	±0.13	3.73	±0.05	3.69	±0.04	3.71	±0.04	3.74	±0.06	3.72	±0.01
DE9_1.5%	3.82	±0.20	3.72	±0.01	3.70	±0.00	3.97	±0.35	3.75	±0.04	3.76	±0.04
DE9_3%	3.82	±0.21	3.73	±0.00	3.70	±0.01	3.88	±0.19	3.76	±0.03	3.76	±0.04
DE9_P_0.5%	3.80	±0.23	3.70	±0.00	3.70	±0.01	3.71	±0.02	3.73	±0.06	3.74	±0.05
DE9_P_1.5%	3.80	±0.23	3.72	±0.03	3.67	±0.02	3.67	±0.07	3.75	±0.04	3.71	±0.00
DE9_P_3%	3.81	±0.19	3.71	±0.01	3.66	±0.02	3.68	±0.04	3.75	±0.03	3.73	±0.02



รูปที่ 1 ค่า L^* ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 2 ค่า a^* ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 3 ค่า b^* ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 2 ค่าความหนืดที่อัตราเฉือน 130 s^{-1} ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
	0	1	2	3	4	6
Control	848.50 ±64.35	939.50 ±5.66	919.75 ±2.47	965.00 ±13.14	885.25 ±37.43	854.25 ±73.89
DE9_0.5%	947.50 ±21.32	959.50 ±22.23	1001.00 ±25.87	992.25 ±81.67	1036.25 ±61.37	994.25 ±149.55
DE9_1.5%	952.25 ±37.12	1122.50 ±10.61	1037.50 ±87.38	992.25 ±67.53	1062.50 ±10.61	932.50 ±116.67
DE9_3%	1142.50 ±10.61	1052.00 ±31.11	1019.75 ±78.14	1002.00 ±83.24	1092.50 ±38.89	1038.75 ±65.41
DE9_P_0.5%	919.00 ±64.05	976.00 ±44.65	967.00 ±70.00	969.00 ±95.46	920.75 ±39.95	896.00 ±53.74
DE9_P_1.5%	996.75 ±8.84	1035.50 ±46.67	1052.25 ±46.32	1091.50 ±67.58	1137.50 ±31.82	1165.00 ±162.63
DE9_P_3%	1037.75 ±72.89	1006.50 ±17.68	1054.25 ±15.20	1055.50 ±86.78	1069.75 ±56.92	1068.75 ±171.47

ตารางที่ 3 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเม็ดไขมัน (μm) ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
	0	1	2	3	4	6
control	2.66 ^{ab} $\pm$ 0.30	3.01 ^{bb} $\pm$ 0.36	5.28 ^{ba} $\pm$ 0.11	2.98 ^{ab} $\pm$ 0.18	2.94 ^{fb} $\pm$ 0.00	2.83 ^{ab} $\pm$ 0.11
DE10_0.5%	2.86 ^{cd} $\pm$ 0.09	3.21 ^{ba} $\pm$ 0.02	2.78 ^{cd} $\pm$ 0.12	3.04 ^{ab} $\pm$ 0.06	2.85 ^{cd} $\pm$ 0.00	3.02 ^{abc} $\pm$ 0.04
DE10_1.5%	2.59 ^{ab} $\pm$ 0.06	4.19 ^{ba} $\pm$ 1.22	3.08 ^{cAB} $\pm$ 0.06	3.22 ^{aAB} $\pm$ 0.08	3.22 ^{cAB} $\pm$ 0.00	3.35 ^{aAB} $\pm$ 0.06
DE10_3%	4.80 ^{aA} $\pm$ 1.93	5.63 ^{aA} $\pm$ 1.51	8.56 ^{aA} $\pm$ 1.48	5.45 ^{aA} $\pm$ 2.50	3.38 ^{ba} $\pm$ 0.00	5.19 ^{aA} $\pm$ 2.21
DE10_P_0.5%	2.63 ^{aA} $\pm$ 0.49	2.98 ^{ba} $\pm$ 0.20	2.96 ^{cA} $\pm$ 0.10	3.04 ^{aA} $\pm$ 0.15	2.97 ^{eA} $\pm$ 0.00	2.89 ^{aA} $\pm$ 0.18
DE10_P_1.5%	3.02 ^{aA} $\pm$ 0.05	3.04 ^{ba} $\pm$ 0.30	3.93 ^{bcA} $\pm$ 1.36	3.16 ^{aA} $\pm$ 0.08	3.11 ^{dA} $\pm$ 0.00	3.21 ^{aA} $\pm$ 0.08
DE10_P_3%	4.93 ^{aA} $\pm$ 1.68	5.30 ^{ba} $\pm$ 2.24	7.90 ^{aA} $\pm$ 0.18	5.86 ^{aA} $\pm$ 1.70	6.07 ^{aA} $\pm$ 0.00	5.43 ^{aA} $\pm$ 1.77

* อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b,c,...) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

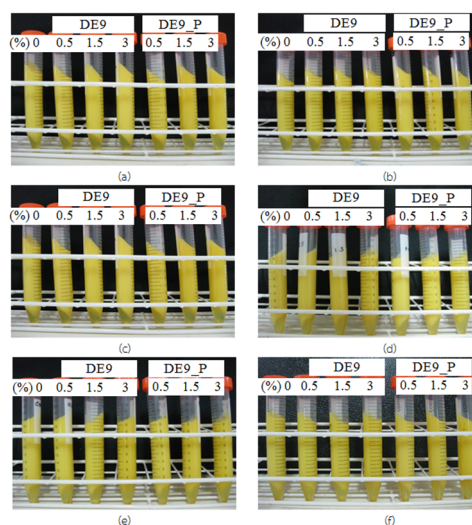
อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A,B,C,...) ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 Flow behavior index ($n_{emulsion}$) ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

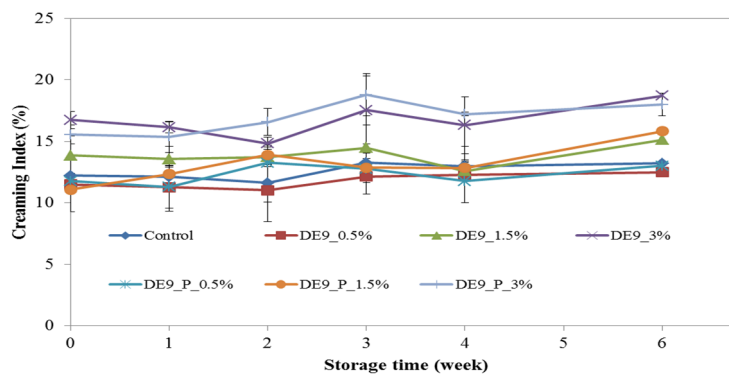
ตัวอย่าง	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (สัปดาห์)					
	0	1	2	3	4	6
Control	0.51 ^{bb} $\pm$ 0.02	0.58 ^{ba} $\pm$ 0.02	0.57 ^{da} $\pm$ 0.01	0.58 ^{da} $\pm$ 0.02	0.59 ^{ca} $\pm$ 0.01	0.57 ^{da} $\pm$ 0.01
DE9_0.5%	0.55 ^{bb} $\pm$ 0.03	0.59 ^{baB} $\pm$ 0.03	0.59 ^{cdAB} $\pm$ 0.01	0.59 ^{cdAB} $\pm$ 0.02	0.62 ^{bcA} $\pm$ 0.06	0.64 ^{ca} $\pm$ 0.06
DE9_1.5%	0.56 ^{bb} $\pm$ 0.03	0.62 ^{ba} $\pm$ 0.03	0.62 ^{bcA} $\pm$ 0.03	0.62 ^{ba} $\pm$ 0.01	0.64 ^{bcA} $\pm$ 0.03	0.65 ^{bcA} $\pm$ 0.05
DE9_3%	0.63 ^{ab} $\pm$ 0.04	0.66 ^{aAB} $\pm$ 0.03	0.68 ^{aA} $\pm$ 0.02	0.68 ^{aA} $\pm$ 0.02	0.71 ^{aA} $\pm$ 0.04	0.71 ^{abA} $\pm$ 0.04
DE9_P_0.5%	0.54 ^{bc} $\pm$ 0.02	0.59 ^{bb} $\pm$ 0.04	0.59 ^{cdB} $\pm$ 0.02	0.62 ^{bcAB} $\pm$ 0.00	0.60 ^{cAB} $\pm$ 0.01	0.64 ^{bcA} $\pm$ 0.05
DE9_P_1.5%	0.55 ^{bd} $\pm$ 0.01	0.60 ^{bc} $\pm$ 0.02	0.61 ^{bBC} $\pm$ 0.02	0.62 ^{bcBC} $\pm$ 0.01	0.66 ^{abAB} $\pm$ 0.04	0.68 ^{abcA} $\pm$ 0.04
DE9_P_3%	0.62 ^{aC} $\pm$ 0.03	0.66 ^{aBC} $\pm$ 0.03	0.67 ^{aB} $\pm$ 0.03	0.68 ^{ab} $\pm$ 0.03	0.70 ^{aAB} $\pm$ 0.02	0.72 ^{aA} $\pm$ 0.03

* อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก (a,b,c,...) ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

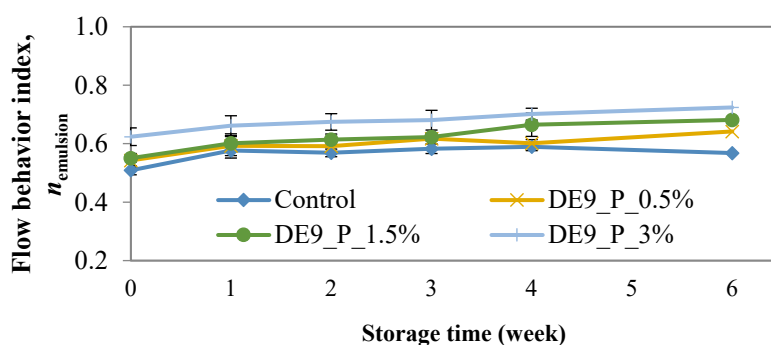
อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A,B,C,...) ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



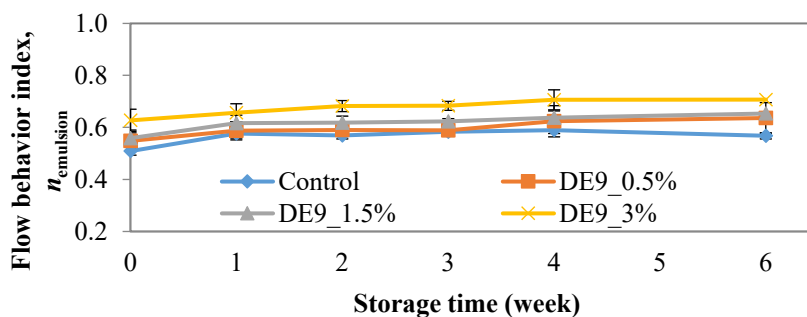
รูปที่ 4 การแยกชั้นครีมหลังผ่านการหมุนเหวี่ยง (accelerated centrifugal creaming) ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา (a) 0, (b) 1, (c) 2, (d) 3, (e) 4, and (f) 6 สัปดาห์



รูปที่ 5 ดัชนีการแยกชั้นครีมหลังผ่านการหมุนเหวี่ยง (accelerated centrifugal creaming index) ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) หรือมอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 6 Flow behavior index ($n_{emulsion}$) ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE9) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 7 Flow behavior index ($n_{emulsion}$) ของน้ำสลัดที่ใช้มอลโทเดกซ์ทรินพาล์มิเทต (DE9_P) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 3 เม็ดไขมันของน้ำสลัดสูตรควบคุมเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ $2.66 \mu m$ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำสลัดที่มีการเติม DE9 และ DE9_P อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่ขนาดของเม็ดไขมันมีแนวโน้มใหญ่ขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ DE9_P เพิ่มขึ้น น่าจะเป็นเพราะโมเลกุล DE9_P ห่อหุ้มด้านนอกของเม็ดไขมันทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย (Udomrati et al., 2016) โดยขนาดของเม็ดไขมันในทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์ อาจเนื่องจากในน้ำสลัดมีเลซิติน

จากไข่แดงซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในปริมาณที่เพียงพอที่ทำให้เม็ดไขมันมีความคงตัว อีกทั้งน้ำสลัดเป็นระบบที่มีความหนืดสูง เมื่อความหนืดสูงเม็ดไขมันเคลื่อนที่ได้ช้า จึงช่วยชะลอการหลอมรวมตัวของเม็ดไขมัน (Ye et al., 2004; Udomrati et al., 2011)

Flow behavior index ของน้ำสลัด ($n_{emulsion}$) แสดงดังตารางที่ 4 น้ำสลัดทุกตัวอย่างมีค่า $n_{emulsion}$ อยู่ในช่วง 0.5-0.7 มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงพฤติกรรมการไหลแบบเชียร์ทินนิง (shear thinning) การใช้ DE9 และ DE9_P ในน้ำสลัดมี

แนวโน้มทำให้น้ำสลัดที่ค่า $n_{emulsion}$ เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ DE9 และ DE9_P เพิ่มขึ้น (รูปที่ 6 และ 7) น่าจะเป็นเพราะสารละลาย DE9 มีพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian) ซึ่งมีค่า flow behavior index ($n_{solution}$) ประมาณ 1 ในช่วงความเข้มข้น 5-35% (w/w) (Udomrati et al., 2013) และจากการทดลองของ Udomrati and Gohtani (2015) พบว่าส่วนสารแขวนลอย DE9_P ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (5% (w/w)) มีค่า $n_{solution}$ ใกล้เคียง 1 ดังนั้นการใช้ DE9 และ DE9_P (0.5-3% (w/w)) เป็นส่วนประกอบในน้ำสลัดจึงทำให้น้ำสลัดมีค่า $n_{emulsion}$ เพิ่มขึ้น คือแสดงสมบัติการไหลเข้าใกล้นิวโตเนียนเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4 ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า $n_{emulsion}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในทุกตัวอย่างน้ำสลัด น่าจะเป็นเพราะน้ำสลัดมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับผลของขนาดของเม็ดไขมัน (ตารางที่ 3) ที่แสดงว่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดไขมันของน้ำสลัดในทุกตัวอย่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

จากการทดลองพบว่าสูตรน้ำสลัดควบคุมเป็นระบบอิมัลชันที่มีความคงตัว ดังนั้นการเติม DE9 และ DE9_P ในน้ำสลัดเพื่อช่วยรักษาความคงตัวของน้ำสลัดจึงเห็นผลไม่ชัดเจน

สรุปผลการทดลอง

กลไกของมอลโทเดกซ์ทรีนปาล์มิเตในการรักษาความคงตัวของน้ำสลัดคือมอลโทเดกซ์ทรีนปาล์มิเตน่าจะดูดซับที่พื้นผิวเม็ดไขมันเป็นฟิล์มล้อมรอบเม็ดไขมันร่วมกับเลซิthin ช่วยทำให้น้ำสลัดมีความคงตัว อย่างไรก็ตามการใช้ DE9_P เพื่อช่วยรักษาความคงตัวของน้ำสลัดเห็นผลไม่ชัดเจนเนื่องจากน้ำสลัดสูตรควบคุม (ไม่มีการเติม DE9 และ DE9_P) มีความคงตัว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) (107.59)

เอกสารอ้างอิง

Aburto, J., Alric, I., Thiebaud, S., Borredon, E., Bikiaris, D., Prinos, J and Panayiotou, C. (1999). Synthesis, characterization, and

biodegradability of fatty-acid esters of amylose and starch. *Journal of Applied Polymer Science* 74: 1440–145.

Fundador, N.G., Enomoto-Roger, Y., Takemura, A. and Iwata, T. (2012). Syntheses and characterization of xylan esters. *Polymer* 53: 3885–3893.

Kaewprapan, K., Baros, F., Marie, E., Inprakhon, P. and Durand, A. (2012). Macromolecular surfactants synthesized by lipase-catalyzed transesterification of dextran with vinyl decanoate. *Carbohydrate Polymers* 88: 313–320.

McClements, D.J. (2000). Comments on viscosity enhancement and depletion flocculation by polysaccharides. *Food Hydrocolloids* 14: 173–177.

McClements, D.J. (2005). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques*. (2nd ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press.

Shogren, L.R., Biswas, A. and Willett, L.J. (2010). Preparation and physical properties of maltodextrin stearates of low to high degree of substitution. *Starch/Stärke* 63: 333–340.

Udomrati, S., Ikeda, S. and Gohtani, S. (2011). The effect of tapioca maltodextrins on the stability of oil-in-water emulsions. *Starch/Stärke* 63: 347–353.

Udomrati, S., Ikeda, S. and Gohtani, S. (2013). Rheological properties and stability of oil-in-water emulsions containing tapioca maltodextrin in the aqueous phase. *Journal of Food Engineering* 116: 170–175.

Udomrati, S. and Gohtani, S. (2014). Enzymatic esterification of tapioca maltodextrin fatty acid ester. *Carbohydrate Polymers* 99: 379–384.

Udomrati, S. and Gohtani, S. (2015). Tapioca maltodextrin fatty acid ester as a potential stabilizer for Tween 80-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids* 44: 23–31.

Udomrati, S., Khalid, N., Gohtani, S., Nakajima, M., Neves, M.A., Uemura, K. and Kobayashi, I. (2016). Effect of esterified oligosaccharides on the formation and stability of oil-in-water emulsions. *Carbohydrate Polymers* 143: 44–50.

Van den Broek, L.A.M. and Boeriu, C.G. (2013). Enzymatic synthesis of oligo- and polysaccharide fatty acid esters. *Carbohydrate Polymers* 93: 65–72.

Ye, A., Hemar, Y., and Singh, H. (2004). Enhancement of coalescence by xanthan addition to oil-in-water emulsions formed with extensively hydrolysed whey proteins. *Food Hydrocolloids* 18: 737–746.

