



## จลนพลศาสตร์การสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำเมาในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

### Kinetic Degradation of Anthocyanins in Mao Juice during Heating Process

กิงกาญจน์ ป็องทอง<sup>1\*</sup>, ธนกร ราชพิลา<sup>2</sup>

Kingkan Pongtong<sup>1\*</sup>, Tanakorn Rachapila<sup>2</sup>

<sup>1</sup>มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, ตำบลโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ, 33000

<sup>1</sup>Sisaket Rajabhat University, Pho Sub-district, Muang District, Sisaket, 33000

<sup>2</sup>มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร, 47000

<sup>2</sup>Sakon Nakhon Rajabhat University, Thatchengchum Sub-district, Muang District, Sakon Nakhon 47000

\*Corresponding author: Tel: +66-6-2391-5466, E-mail: [kingkan.pt@gmail.com](mailto:kingkan.pt@gmail.com)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนที่มีต่อการสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำเมา น้ำเมาสดที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ  $11.87 \pm 0.65$  mg.  $100g^{-1}$  นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ในระหว่างการให้ความร้อนเป็นเวลา 0 - 30 นาที น้ำเมาถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานิน และไปตามแบบจำลองของจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับ 1 ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำเมาถูกนำมาคำนวณเป็นค่าพลังงานกระตุ้นได้เท่ากับ  $65.88$  kJ.  $mol^{-1}$  ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 60 - 80 °C

คำสำคัญ: น้ำเมา, แอนโทไซยานิน, จลนพลศาสตร์

#### Abstract

The objective of this research aims to study the effect of heating process on anthocyanin degradation. Anthocyanin content of the fresh Mao juice was  $11.87 \pm 0.65$  mg.  $100g^{-1}$ . The processing temperature used in this study were 60, 70 and 80 °C. During heating from 0 - 30 mins, anthocyanin contents were determined by pH differential method. The Results indicated that increase of heating temperature gave higher degradation rate of anthocyanin. Anthocyanin degradation fitted to a first order reaction kinetics. Temperature dependence of anthocyanin degradation rate constants in Mao juice was expressed as activation energy that was estimated to be  $65.88$  kJ.  $mol^{-1}$  between 60 - 80 °C

Keywords: Mao juice, Anthocyanin, Kinetics

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

## บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจอาหารเพื่อสุขภาพกันมากขึ้น จะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจำหน่ายจะเน้นในเรื่องของคุณค่าทางอาหาร น้ำผลไม้จัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับคามนิยมจากผู้บริโภค เนื่องจากเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ และเส้นใยได้ดี

เม่า หรือ หมากเม่า (*Antidesma ghaesembilla*) เป็นพืชในวงศ์ Euphorbiaceae ที่มีผลสีม่วงแดง ส่วนใหญ่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ได้แก่ จังหวัดสกลนคร นครพนม หนองคายและมุกดาหาร (Musika and Sae-eaw, 2013) ผลจะสุกในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม ส่วนมากนิยมนำผลสุกมาบริโภคโดยตรง หรือการผลิตเป็นน้ำเม่า น้ำเม่าสกัดเข้มข้น การหมักทำไวน์ และมีจำหน่ายในท้องถิ่นตามฤดูกาล ส่วนใหญ่ได้จากธรรมชาติมากกว่าการเพาะปลูก แต่ปัจจุบันได้รับความนิยม และนำเข้าสู่กระบวนการทางอุตสาหกรรมมากขึ้น เม่าเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นแหล่งของสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidance) สามารถช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ได้ (Thaiou and Assawarachan, 2018)

การแปรรูปน้ำผลไม้ด้วยความร้อนนั้นจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคกับผู้บริโภคได้ แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้สารอาหารที่สำคัญสลายตัวได้ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ และมักจะสลายตัวเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1 (Vikram, et al., 2005) เช่น การสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำมะเขีงเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1 (Thaiou and Assawarachan, 2018) การสลายตัวของวิตามินซีในน้ำสตรอว์เบอร์รี่เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1 (Lanny and Lei, 2014) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำเม่าและสร้างแบบจำลองจลนพลศาสตร์การสลายตัวของแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

## 1. อุปกรณ์และวิธีการ

### 1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ผลเม่าสดซื้อจากเกษตรกรในอำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดสกลนคร นำมาล้างน้ำเพื่อทำความสะอาด และคั้นน้ำด้วยเครื่องสกัดแบบแยกกาก บรรจุใส่ในขวด PET แล้วนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  จนกว่าจะใช้ในการทดลอง

### 1.2 การศึกษาการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำเม่า

นำน้ำเม่าที่เตรียมได้จากการทดลองขั้นที่ 1.1 มาทำการละลายที่อุณหภูมิ  $5^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 17 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำเม่าละลาย หลังจากนั้นนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$  ใน water bath เป็นเวลา 30 นาที โดยแต่ละอุณหภูมิจะสุ่มตัวอย่างทุก 10 นาที (เริ่มจับเวลาการให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิได้เท่ากับ 60, 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$ ) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละสภาวะการทดลองไปวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน

### 1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน

ทำการวัดปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method (Lee and Kim, 2009) โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 และสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 ซึ่งทำการปรับสารละลายบัฟเฟอร์โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น สารสกัดน้ำเม่า 1 mL จะนำไปผสมกับบัฟเฟอร์ในขวดปรับปริมาตร 10 mL และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrometer ที่ความยาวคลื่น 510 และ 700 nm ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ปริมาณของแอนโทไซยานิน ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) จะคำนวณในรูปของ cyanidin-3-glucoside ดังแสดงในสมการ (1)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน} = \frac{A_{510} - A_{700}}{A_{510} - A_{700}} \times \text{MW} \times \text{DF} \times \text{C} \quad (1)$$

เมื่อ A คือ  $(A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $449.2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

DF คือ สัมประสิทธิ์การเจือจาง (dilution factor)

C คือ โมลาร์แอบซอปติวิตีของ cyanidin-3-glucoside ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $26,900 \text{ M}\cdot\text{cm}^{-1}$

l คือ ขนาดความกว้างของคิวเวต (เซนติเมตร) ที่ใช้วัดค่าดูดกลืนแสง

### 2.4 การสร้างแบบจำลองเพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาการสลายตัวของแอนโทไซยานิน

การหาอันดับการสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำเม่าจะเป็นฟังก์ชันของเวลาในการให้ความร้อน สามารถเขียนในรูปของปฏิกิริยาอันดับศูนย์และปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ดังแสดงในสมการที่ 2 และสมการที่ 3 ตามลำดับ

$$C = C_0 - k_0t \quad (2)$$

$$C = C_0 \exp(-k_1 t) \quad (3)$$

เมื่อ  $C$  คือ ปริมาณแอนโทไซยานิน ( $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) ที่เวลาใดๆ  
 $C_0$  คือ ปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นที่เวลา 0 นาที  
 $k_0$  และ  $k_1$  คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่งตามลำดับ

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน (min)

ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอธิบายได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Arrhenius ดังแสดงในสมการที่ 4

$$k = k_0 \exp(-E_a / RT) \quad (4)$$

เมื่อ  $k_0$  คือ pre-exponential factor

$E_a$  คือ ค่าพลังงานกระตุ้น ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$R$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ ( $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$T$  คือ อุณหภูมิในหน่วยสัมบูรณ์ (K)

## 2. ผลและวิจารณ์

น้ำเม่าที่ใช้ในการวิจัยมีปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้น  $11.87 \pm 0.65 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที และทำการวัดปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่า เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินสลายตัวมากขึ้น และที่อุณหภูมิเดียวกันพบว่า เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานก็ส่งผลกับสลายตัวของแอนโทไซยานิน เมื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบสมการเชิงเส้นเพื่อวิเคราะห์หาแบบจำลองของจลนพลศาสตร์การสลายตัวของแอนโทไซยานินของทั้ง 3 อุณหภูมิ ตามแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับ 0 และปฏิกิริยาอันดับ 1 ดังแสดงใน Figure 1-3 และ Figure 2-6 ตามลำดับ และทำการพิจารณาหาแบบจำลองที่เหมาะสมโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ดังแสดงใน Table 1

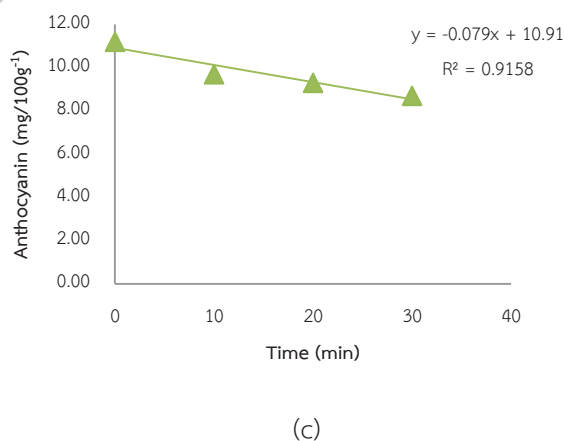
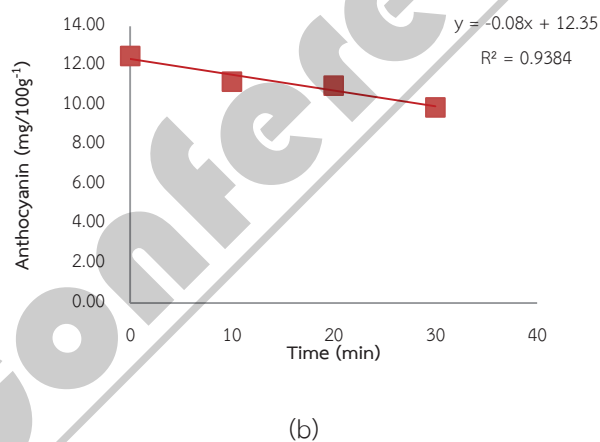
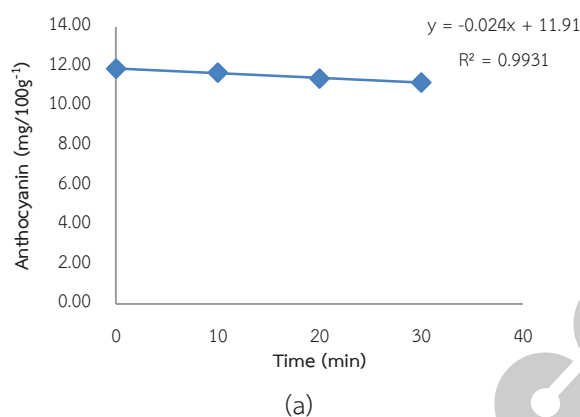
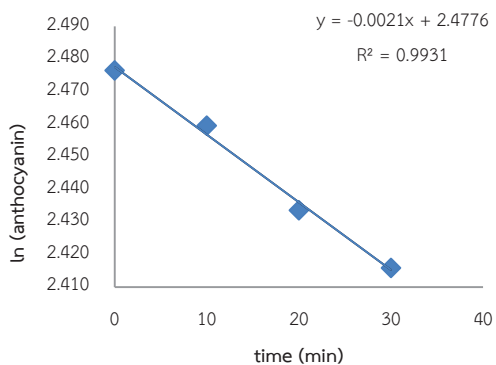
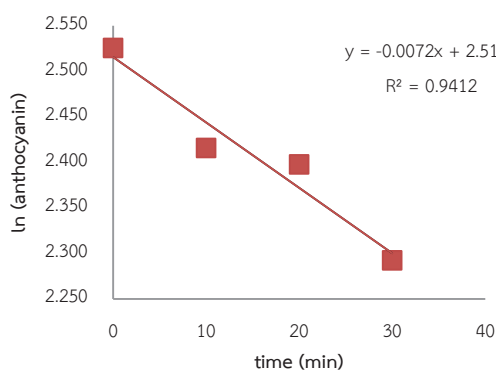


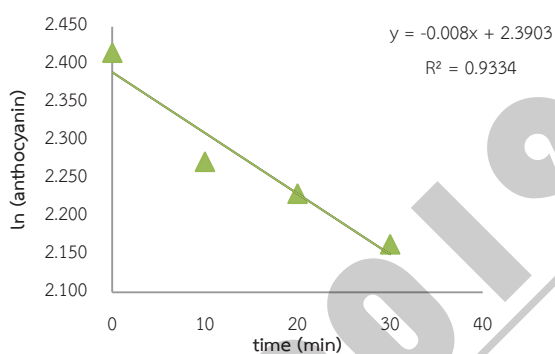
Figure 1 Anthocyanin degradation in Mao juice during heating process at (a) 60 °C (b) 70°C and (c) 80°C .The full lines represent the fitted zero-order kinetics models.



(a)



(b)



(c)

Figure 2 Anthocyanin degradation in Mao juice during heating process at (a) 60°C (b) 70°C and (c) 80°C .The full lines represent the fitted first-order kinetics models.

Table 1 Kinetics loss rate constants and  $R^2$  values according to zero-order and first-order kinetic models fitted to the experimental data of anthocyanin concentrations in Mao juice during heating processes.

Reaction order	T (°C)	Kinetic models	$R^2$
0	60	$C = -0.024(t) + 11.91$	0.9931
	70	$C = -0.080(t) + 12.35$	0.9384
	80	$C = -0.079(t) + 10.91$	0.9158
1	60	$\ln(C) = -0.0021(t) + 2.4776$	0.9931
	70	$\ln(C) = -0.0072(t) + 2.5157$	0.9412
	80	$\ln(C) = -0.0080(t) + 2.3903$	0.9334

จาก Table 1 พบว่าแบบจำลองจลนพลศาสตร์การสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำเม่าเหมาะสมกับปฏิกิริยาอันดับ 1 เนื่องจากให้ค่า  $R^2$  สูงกว่าอันดับ 0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thaiou and Assawarachan (2018) ที่พบว่าการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำมะเกี๋ยงเหมาะสมกับปฏิกิริยาอันดับ 1 นอกจากนี้ยังพบว่า การสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำบลูเบอร์รี่ (Alex et al., 2016) การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำสตรอว์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา (Carolien et al., 2018) การสลายตัวของวิตามินซีในน้ำส้ม (Vikram et al., 2005) เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1

จากการสลายตัวของปริมาณแอนโทไซยานินในขณะให้ความร้อนเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1 ซึ่งจะใช้สำหรับหาค่า  $k$  โดยพิจารณาจากความชันของกราฟสำหรับแต่ละอุณหภูมิ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะให้ค่า  $k$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Rate constant for anthocyanin degradation

T (°C)	T (K)	k (min <sup>-1</sup> )
60	333	0.0021
70	343	0.0072
80	353	0.0080

ทำการ fit ข้อมูลระหว่างค่า  $k$  กับ  $T(K)$  จาก Table 2 โดยใช้ Non-linear regression พบว่ามีค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) เท่ากับ  $65.88 \text{ kJ. mol}^{-1}$  พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Danisman et al., (2015) ที่มีค่า  $E_a$  ในการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำองุ่นเมื่อให้ความร้อนระหว่าง  $70 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$  เท่ากับ  $64.89 \text{ kJ. mol}^{-1}$  นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่ามีค่า  $E_a$  ในการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำบลูเบอร์รี่ในระหว่างการให้ความร้อน  $40 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$  เท่ากับ  $80.4 \text{ kJ. mol}^{-1}$  (Kechinski et al., 2010) และค่า  $E_a$  ในการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำแบล็คเบอร์รี่ในระหว่างการให้ความร้อน  $60 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$  เท่ากับ  $58.95 \text{ kJ. mol}^{-1}$  (Wang and Xu, 2007) ซึ่งค่า  $E_a$  จะบ่งบอกถึงความไวในการสลายตัวของแอนโทไซยานินที่มีต่ออุณหภูมิ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่า น้ำเมาะมีความคมทนต่อการสลายตัวของแอนโทไซยานินใกล้เคียงกับน้ำองุ่น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบลูเบอร์รี่พบว่าน้ำเมาะมีความไวในการสลายตัวมากกว่า

### 3. สรุป

น้ำเมาะสดมีปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นเท่ากับ  $11.87 \text{ 0.65 mg. } 100 \text{ }^{\text{g}^{-1}}$  นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  และ  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 30 นาที พบว่าที่ทุกระดับอุณหภูมิมีการสลายตัวเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1 เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด ( $R^2$ ) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนส่งผลให้อัตราการสลายตัวของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วย และมีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ  $65.88 \text{ kJ. mol}^{-1}$

### 4. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

### 5. เอกสารอ้างอิง

Alex, M.A., Yougui, C.Y. 2016. Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blueberry hydrothermodynamic (HTD) processing. Journal of Food Engineering 171, 44-51.  
Carolien, B., Biniam, T.K., Cedric, D.B., Celia, C., Houng, T.P., Marc, H., Tara, G., Ann, V.L. 2018. Kinetics of colour changes in pasteurized strawberry juice during storage. Journal of Food Engineering 216, 42-51.

Danisman, G., Arslan, E., Toklucu, A.K. 2015. Kinetic analysis of anthocyanin degradation and polymeric colour formation in grape juice during heating. Czech Journal of Food Sci 33, 103-108.  
Hillman, M.C.R., Burin, V.M., Bordignon-Luiz, M.T. 2011. Thermal degradation kinetics of anthocyanins in grape juice and concentrate. International Journal of Food Science and Technology, 46, 1997-2000.  
Kechinski, C.P., Guimarare, P.V.R., Norena, C.P.Z., Tessara, I.C., Marczak, A.D.F. 2010. Degradation kinetics of anthocyanin in blueberry juice during thermal treatment. Journal of Food Science, 75, 173-176.  
Lanny, S., Lie, H. 2014. Study on the kinetics of vitamin C degradation in fresh strawberry juice. Procedia Chemistry 9, 62-68.  
Lee, J.H., Kim, H.J. 2009. Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. LWT, 42, 180-186.  
Musika, J., Sae-eaw, A. 2013. Effect of colors and varieties of mao fruits on physicochemical and functional Properties. Proceeding of the Graduate research conference 2013: Khon Kaen University.  
Thaiou, P., Assawarachan, R. 2018. Thermal degradation kinetics on anthocyanin stability of making (*Cleistocalyx nervosum*) Juice. Proceeding of the 7<sup>th</sup> Phayao Research Conference, 977-985 : Phayao University. 25-26 January 2018. Phayao.  
Vikram, V.B., Ramesh, M.N., Prapulla, S.G. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. Journal of Food Engineering 69, 31-40.  
Wang, W.D., Xu, S.Y. 2007. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. Journal of Food Engineering, 82, 271-275.