

ประเมินคุณภาพน้ำมันพืชที่ใช้ปรุงอาหาร โดยใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy

จากรุวรรณ บางแวก จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

Abstract

In cooking oil manufacturing, the qualities such as acid value: Av, Iodine value: IV, Peroxide value: PV and rancidity were measured to control oil standard for trade. The qualities changed caused of oxidation activities in the unsuitable storage conditions, the qualities of materials etc. For control in manufacturing process, the procedures in analyses were difficult, taking times, using hazard chemicals, experience needs, destroy materials and etc. This objective of this study was to find out the effective method, taking short time, precise, accuracy, non destructive, free hazard chemicals, no experiences, to substitute laboratory analyses. They were conducted at Postharvest and Product Processing Research Development Division, Department of Agriculture during the year 2016-18. It was found that Near Infrared Spectroscopy (NIRS) technique was effective to substitute laboratory analyses for AV, IV, PV and rancid in cooking oils. Four equations of AV, IV, PV and rancid from NIRS technique having high correlation in statistic ($R = 0.98, 0.99, 0.98$ and 0.98 , respectively). Low Standard Error of prediction (SEP = 0.11 mgKOH/g oil, 6.73 wjjs, 0.63 meq/kg oil and 2.99%, respectively) and less than standard deviation (sd) of laboratories in each quality.

Key words: cooking oil, manufacture, Near Infrared Spectroscopy, NIRS, acid value: Av, Iodine value: IV, Peroxide value: PV, rancidity

บทคัดย่อ

ในการผลิตน้ำมันพืชที่ใช้ในการบริโภค ต้องมีมาตรฐานคุณภาพ เพราะน้ำมันพืชจะมีไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเมื่อเก็บรักษาในสภาพที่ไม่เหมาะสมเช่น ระยะเวลาสั้น พบสารออกซิเจนทำให้

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดกรด มีกลิ่นหืน ทำให้เป็นอันตรายต่อการบริโภค ในการผลิตทำให้น้ำมันพืชไม่ได้มาตรฐานการผลิต คุณภาพน้ำมันที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำมัน คือ ค่าความเป็นกรด (acid value: AV) ค่าไอโอดีน (Iodine Value: IV) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) แต่การวิเคราะห์จะเป็นวิธีที่ยุ่งยาก ต้องใช้ผู้มีประสบการณ์ ใช้เวลานาน ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ทำลายตัวอย่าง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) มาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำมันพืชทดแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยต้องมีความรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ ไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่ใช้สารเคมีที่มีอันตราย ทำการทดลองที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร จากการวัดค่าการดูดซับแสง พบว่า ได้สมการ 4 สมการ สามารถประเมินคุณภาพน้ำมันได้มีประสิทธิภาพสูง สมการประเมินค่าความเป็นกรด (AV) ค่าไอโอดีน (Iodine Value: IV) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) ค่าความหืน โดยมีค่าความสัมพันธ์สูง (R = 0.98, 0.99, 0.98 และ 0.98 ตามลำดับ) และค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินผลต่ำ (SEP = 0.11 mgKOH/g oil, 6.73 wigs, 0.63 meq/kg oil และ 2.99%) ความคลาดเคลื่อนในการประเมินในทุกสมการมีค่าต่ำกว่าค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (sd) ของการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

คำหลัก: น้ำมันบริโภค โรงงาน Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความหืน

คำนำ

น้ำมันพืชที่บริโภคหรือที่ใช้เมื่อเก็บรักษานานคุณภาพจะเสื่อมทำให้เกิดกลิ่นหืน ในโรงงานผลิตน้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชต้องมีมาตรฐานคุณภาพน้ำมันในการผลิต โดยจะดูที่ ค่าความเป็นกรด (Acid Value: AV) ค่าไอโอดีน (Iodine Value: IV) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV)

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน

ข้อ 6 น้ำมันและไขมันต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีค่าของกรด (Acid Value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน หรือไขมัน 1 กรัม

(1.1) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(1.2) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(1.3) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(1.4) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(1.5) ได้ไม่เกิน 1.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีผสมกับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

(2) มีค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลต่อ น้ำมันและไขมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10

ค่าเหล่านี้จะบอกถึงคุณภาพน้ำมันพืชที่ใช้บริโภค ถ้าน้ำมันพืชเก็บรักษาไม่เหมาะสม น้ำมันก็จะเกิดกลิ่นหืน มีค่า AV IV PV สูงได้ ดังนั้นค่าเหล่านี้จะบอกถึงคุณภาพ ในการผลิตน้ำมันเพื่อคุณภาพมาตรฐานคุณภาพน้ำมันบริโภค ซึ่งกำหนดให้มีค่า AV IV PV ไม่สูงกว่า

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน

คุณภาพน้ำมันมีความสำคัญต่อการพิจารณาว่าน้ำมันใดบริโภคได้หรือไม่ สิ่งที่ต้องบอกว่าคุณภาพน้ำมันที่จะบริโภค ได้หรือไม่นั้นมีหลายอย่าง ในที่นี้พิจารณาทำกรด ค่าไอโอดีน ค่าสปอนนิฟิเคชัน และค่าเปอร์ออกไซด์

1) ค่ากรด คือ จำนวนมิลลิกรัมปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมันหนักหนึ่งกรัม

2) ค่าไอโอดีน (iodine value: IV) (อภิญา, 2551) คือ จำนวนของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันหนัก 100 กรัม เป็นค่าที่บอกถึงความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน

ค่าไอโอดีน เป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนชนิด Oxidative rancidity ได้ง่ายด้วย

การหาค่าของไอโอดีนโดยวิธีของ Hanus โดยใช้สารละลายไอโอดีนมาตรฐานในกรดอะซิติกที่มีค่าไอโอดีนโบรมัดช่วยเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยากับไขมันตัวอย่างที่ทราบปริมาณที่แน่นอนซึ่งละลายในคลอโรฟอร์มหรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ทิ้งไว้ในที่มีระยะเวลาหนึ่ง ไตเตรทปริมาณไอโอดีนที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

3) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value: PV) (นิธิยา, 2529)

ค่าเปอร์ออกไซด์ หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 โมลาร์ ที่ใช้ในการไตเตรทไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม หรือมิลลิโมลของออกซิเจนต่อกิโลกรัมของไขมัน (1 มิลลิโมล เท่ากับ 2 มิลลิกรัมสมมูล)

มาตรฐานน้ำมัน ข้อ (7) ไม่มีกลิ่นหืน

เห็นได้ว่า ค่าเหล่านี้มีวิธีการวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก ใช้เวลานาน ใช้เครื่องมือราคาแพง ถ้าสามารถหาวิธีที่จะประเมินคุณภาพน้ำมันพืชได้ภายในระยะเวลาสั้น เพียง 2-3 นาที/ตัวอย่าง ให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำ ไม่ต้องใช้ผู้มีประสบการณ์ ก็จะเป็นประโยชน์มากในการนำวิธีไปใช้ในการผลิตสำหรับผู้ประกอบการ หรือสำหรับผู้ตรวจมาตรฐานน้ำมันพืช ที่ต้องตรวจคุณภาพอยู่ตลอดเวลา

เทคนิค NIR Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในสหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี จีน เป็นต้น เทคนิคนี้เป็นวิธีที่ให้ความถูกต้อง แม่นยำ ใช้เวลาสั้น ไม่ใช้สารเคมี ตัวอย่างไม่ถูกทำลาย แต่สามารถใช้ประเมินได้เฉพาะองค์ประกอบที่เป็นอินทรีย์สารเท่านั้น เช่น น้ำหนักแห้งในหัวหอม (Birth *et al.*, 1985) soluble solids ในแคนตาลูป (Dull *et al.*, 1989) ค่าความหวาน ($^{\circ}$ Brix) ในพืช (Kawano *et al.*, 1992) ปริมาณแป้ง ปริมาณโปรตีนในข้าวสาลี ความชื้นเมล็ด เป็นต้น โดยใช้หลักการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสงในช่วง NIR คือ 800-2500 นาโนเมตร จะส่งผ่านวัตถุที่เป็นของแข็ง ของเหลวใส ต่างกัน ถ้าเป็นของแข็งจะใช้หลักการสะท้อนแสง (Reflection) ถ้าเป็นของเหลวใส จะใช้หลักการส่งผ่านแสงทะลุวัตถุ (Transmission) แล้ววัดการดูดซับแสง (Absorption) ของสาร นำมาหาความสัมพันธ์กับค่าวิเคราะห์สารที่ต้องการจากห้องปฏิบัติการ ปรับปรุงสมการเพื่อจะให้การประเมินได้อย่างถูกต้อง แม่นยำในการประเมิน วิธีการนำสมการไปใช้ โดยนำค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างที่ต้องการประเมินมาแทนที่ในสมการ ก็จะได้ค่าการประเมิน ภายใน 2-3 นาที

หลักการ NIRS

แสงในย่าน NIR (800-2500 นาโนเมตร) จะส่งผ่านวัตถุที่เป็นอินทรีย์สาร สารที่อยู่ภายในวัตถุ เช่น โปรตีน ความชื้น ก็จะดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะของสารแต่ละชนิด เช่น น้ำก็จะดูดซับสารที่ความยาวคลื่น 970 1450 และ 1940 นาโนเมตร เมื่อใช้เครื่อง NIR Spectrometer วัดค่าการดูดซับแสงของวัตถุที่มีความชื้นต่างกันก็จะเห็นความแตกต่างของค่าการดูดซับแสงที่ความยาวดังกล่าว

จากหลักการว่าวัตถุที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันจะสามารถเห็นความแตกต่างของค่าการดูดซับแสงได้ความยาวคลื่นเฉพาะ จึงนำหลักเกณฑ์นี้มาใช้โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างที่ต้องการประเมินกับค่าการดูดซับสาร โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ดังนั้น ถ้าสมการที่ได้มีความสัมพันธ์สูงระหว่างค่าจากการวิเคราะห์และค่าจากการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ (R ใกล้เคียง 1) ปรับปรุงสมการจนได้ค่า R สูง SEC และค่า SEP ต่ำ แล้วนำสมการที่ได้ไปประเมินวัตถุอื่น

การทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีการที่ใช้ประเมินคุณภาพน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ และไม่ทำลายตัวอย่าง และเพื่อขยายผลและเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ประกอบการน้ำมันพืช นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป ให้นำวิธีการนี้ไปใช้อย่างกว้างขวาง

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

- น้ำมันพืชชนิดต่างๆ จากบริษัทต่างๆ และน้ำมันที่ใช้แล้ว ที่มีคุณภาพต่างๆ
- เครื่อง NIR Spectrometer
- เครื่อง Gas Chromatography: GC พร้อมอุปกรณ์
- อุปกรณ์และเครื่องมือการวิเคราะห์ค่า AV IV และ PV
- เครื่องชั่ง

วิธีการ

ขั้นตอนที่ 1 การวัดการดูดซับแสง

-นำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ที่มีคุณภาพต่างๆ ปริมาณ 5 มล. ใส่ใน cuvette วัดการดูดซับแสง โดยใช้หลักการส่งผ่านแสง (Transmission) ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง NIR Spectrometer

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมัน

-นำน้ำมันพืชจากขั้นตอนที่ 1 ไปวิเคราะห์ค่า AV IV PV และค่าความหืน (rancid) ตามวิธีของ AOAC

ขั้นตอนที่ 3 สร้างและปรับปรุงสมการเพื่อใช้ประเมินคุณภาพน้ำมัน

หาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสงน้ำมันพืชที่มีคุณภาพต่างๆ ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ตั้งแต่ 450-2500 นาโนเมตร โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler (Camo, สวีเดน) พร้อมทั้งปรับปรุงสมการ โดยดูจากความสัมพันธ์ (R) สูง ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration: SEC) และค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction: SEP) ต่ำ ถ้าประสิทธิภาพต่ำ ให้ใช้การปรับปรุงสมการโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ ได้

สมการทั้งหมด 4 สมการ เพื่อประเมินค่าความหืน (rancid) ความเป็นกรด (AV) ค่า Iodine value: IV ค่า Peroxide value: PV

เวลาและสถานที่ดำเนินงาน ตั้งแต่ ต.ค. 2556 –ก.ย. 2557

ดำเนินงานที่ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

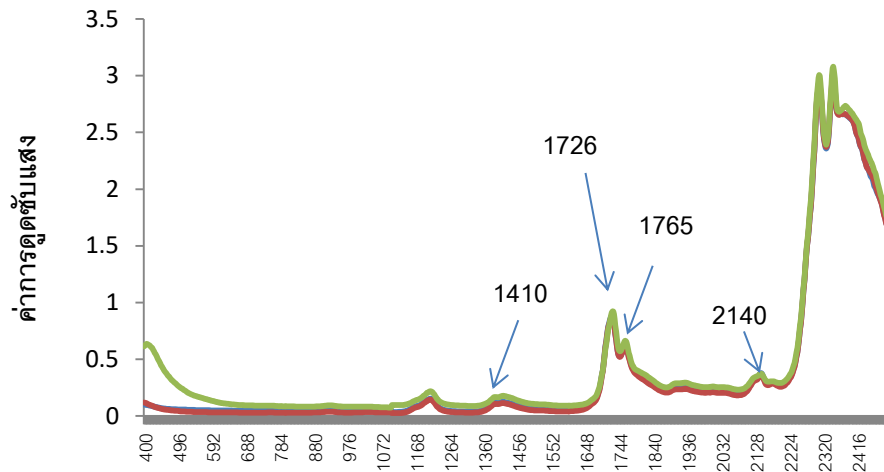
คุณสมบัติของตัวอย่างในการทำสมการ

นำตัวอย่างน้ำมันจากพืชชนิดต่าง เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ทานตะวัน ข้าว และ อื่นๆ แหล่งต่างๆ จากบริษัทต่างๆ พร้อมทั้ง นำน้ำมันที่ใช้แล้ว ที่มีคุณภาพน้ำมันระดับต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของตัวอย่างน้ำมันที่มีคุณภาพระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทำสมการ

คุณภาพ	จำนวนตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	Sd	หน่วย
Acid value: AV	254	0.005-1.39	0.66	0.45	mgKOH/g oil
Iodine value : IV	254	14.26-149.97	84.17	34.27	wijs
PV	254	0.33-11.39	3.70	1.99	meq/kg oil
ค่าความหืน (rancid)	254	2.45-48.10	12.39	12.92	%

จากการวัดค่าการดูดซับแสงของน้ำมันในย่าน NIR (450-2500 นาโนเมตร) จากการใช้เครื่อง NIR spectrometer ดังภาพที่ 1 พบว่า ที่ความยาวคลื่น 1410 1726 1765 และ 2140 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่น ที่สาร ROH, CH₂, CH₂ และ CH=CH ดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวตามลำดับ (Osborne *et al.*, 1993)



ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

ภาพที่ 1. ค่าการดูดซับแสงของน้ำมันพืชที่ความยาวคลื่น ที่ 400-2500 นาโนเมตร

การสร้างสมการประเมินคุณภาพน้ำมันพืชด้วยเทคนิค NIRS

เทคนิค NIRS นำมาใช้เพื่อสร้างสมการจากความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดซับแสงในย่าน NIR และค่าคุณภาพน้ำมันพืช คือ ค่าความหืน (rancid) ความเป็นกรด (AV) ค่า Iodine value: IV ค่า Peroxide value: พบว่า ค่าจากสมการที่ได้มีค่าความสัมพันธ์ (R) สูง โดยมีปัจจัยหลายอย่างมาเกี่ยวข้อง (ตารางที่ 2)

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสง และค่าความเป็นกรด คือ มีค่าสหสัมพันธ์สูง (R = 0.98) ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่าความเป็นกรด (SEP = 0.11 mgKOH/g oil) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (Sd) จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่า 0.45 mgKOH/g oil (ตารางที่ 2)

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสง และค่าไอโอดีน คือ มีค่าสหสัมพันธ์สูง (R = 0.99) ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่าความเป็นกรด (SEP = 6.73) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (Sd) จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่า 34.28 (ตารางที่ 2)

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสง และค่าเปอร์ออกไซด์ คือ มีค่าสหสัมพันธ์สูง (R = 0.98) ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่าความเป็นกรด (SEP = 0.63) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (Sd) จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่า 1.99 (ตารางที่ 2)

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสง และค่าความหืน คือ มีค่าสหสัมพันธ์สูง ($R = 0.98$) ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่าความเป็นกรด ($SEP = 2.99\%$) ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (Sd) จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีค่า 12.92% (ตารางที่ 2)

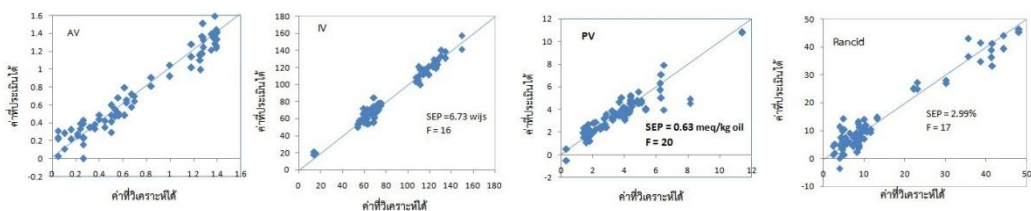
ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติของสมการค่าการดูดซับแสงของน้ำมันพืชที่มีคุณภาพต่างๆ

Items	wavelength (nanometer)	R	SEC	SEP	Bias	F	sd
Acid value (AV)	400-2500	0.98	0.09	0.11	0.001	16	0.45
Iodine value (IV)	400-2500	0.99	5.33	6.73	0.030	16	34.28
Peroxide value (PV)	400-2500	0.98	0.41	0.63	-0.005	20	1.99
rancid	400-2500	0.98	2.37	2.99	-0.040	17	12.92

R : ค่าสหสัมพันธ์
 SEC: ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์
 SEP: ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน
 Bias: ค่าความผิดพลาด
 F: ปัจจัยกระทบ
 sd: ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย

ความถูกต้องในการใช้สมการประเมิน

สมการทั้ง 4 สมการสามารถใช้ประเมินคุณภาพน้ำมันพืช ว่าเหมาะสมที่จะใช้บริโภคหรือไม่ สมการทั้ง 4 ค่าที่ได้จากการประเมินคุณภาพน้ำมันพืช จะได้ใกล้เคียงกับความผิดพลาด (Standard error of prediction : SEP) ต่ำกว่าค่าการวิเคราะห์ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพน้ำมันจากห้องปฏิบัติการ และค่าจากการประเมินจากเทคนิค NIRS

สรุปผลการทดลอง

-เทคนิค NIRS สามารถใช้ประเมินคุณภาพน้ำมันพืช คือ ค่าความเป็นกรด (AV) ค่าไอโอดีน (IV) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ทำลายตัวอย่าง ให้ค่าการประเมินที่ถูกต้อง ในระยะเวลาสั้น

-ความยาวคลื่นที่ใช้ในเทคนิค NIRS เพื่อการประเมินคุณภาพน้ำมันพืช คือ 400 - 2500 นาโนเมตร ใช้หลักการส่งผ่านแสง (Transmission)

เอกสารอ้างอิง

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2529. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. หน้า 83-87.

อนรรฆอร ศรีไสยเพชร และ มาโนชย์ ถนอมวัฒน์. 2555. การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ จำนวน 76 หน้า.

อภิญา วัฒนา. 2551. การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันและการประเมินศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดส้มโอ. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. หน้า 46.

Birth, G.S., G.G. Dull, W.T. Renfore and S.J. Kays. 1985. Nondestructive spectrophotometric determination of dry matter in onions. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 297-303.

Dull, G.G., G.S. Birth, D.A. Smittle and R.G. Leffler. 1989. NIR analysis of soluble solids in intact cantaloupe. J. Food Sci. 54: 393-395.