การศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว (*Oryza sativa*)

Studies on Efficiency of Rice Bram (*Oryza sativa*) Tocopherol Extracts as Antioxidant

*วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ (Voranuch Srijesdaruk)**
*เกษม นันทชัย (Kasem Nantachai)***
*ศรินทร สุวรรณรงค์ (Srintorn Suwannarong)****

บทคัดย่อ

การศึกษาถึงชนิดและปริมาณของโทโคเฟอรอลที่สกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 0, 3 และ 6 เดือน พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 6 เดือน การสกัดสารละลายโทโคเฟอรอลจากรำข้าวเปลือก กข.6 ได้ปริมาณโทโคเฟอรอลสูงกว่าที่สกัดได้จากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ($p<0.05$) และระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีอิทธิพลต่อปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 โดยมีปริมาณเบต้าโทโคเฟอรอลลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกนานขึ้นและมีปริมาณโทโคเฟอรอลเฉลี่ยทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 6 เดือน เป็น 156.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมรำข้าวแห้ง องค์ประกอบย่อยของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 ประกอบด้วยอัลฟาโทโคเฟอรอล อัลฟาโทโคไดรอินอล เบต้าโทโคเฟอรอล และเบต้าโทโคไดรอินอล ปริมาณเฉลี่ย 30.76, 30.24, 19.01 และ 68.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมรำข้าวแห้ง ตามลำดับ แต่ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 โดยมีปริมาณโทโคเฟอรอลเฉลี่ยทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 6 เดือน เป็น 37.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมรำข้าวแห้ง มีองค์ประกอบย่อยของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ประกอบด้วย อัลฟาโทโคเฟอรอล อัลฟาโทโคไตรนอลแกมมาโทโคเฟอรอล และแกมมาโทโคไดรอินอล ปริมาณเฉลี่ย 16.98, 7.66, 3.40 และ 9.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมรำข้าวแห้ง ตามลำดับ จากการศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในน้ำมันหมู พบว่าสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวทั้ง 2 พันธุ์เมื่อเก็บไว้ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกดังกล่าวมีประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในน้ำมันหมูไม่แตกต่างกัน($p>0.05$) แต่พบว่าการกันหืนของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนการกันหืนของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมสารกันหืน) ($p>0.05$) เมื่อเลือกสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 3 เดือนเติมในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกต (Nuggets) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนกับสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอพบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อนักเกตที่เติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเกิดการหืนเร็วกว่าสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ แต่มีประสิทธิภาพในการกันหืนดีกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$)

* รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
*** นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Abstract

RD.6 and KML 105 paddy rice cultivars were storaged at 0, 3 and 6 months and use as raw materials for tocopherols extraction. Identification and quantification of tocopherols were carried out. Result showed that the yeild of tocopherol extracted from RD.6 cultivars was significantly higher than that of KML 105 ($p<0.05$). The storage time of paddy rice showed significant effect on the yield of β-tocopherol from RD.6 cultivar. The longer the storage time, the less tocopherol yield would be. The average yield of tocopherol extracted from RD.6 cultivar after duration of storage was (6 months) 156.73 mg/kg of dry matter. The major component of extract from RD.6 cultivar were α-tocopherol, α-tocotrienol, β- tocopherol and β-tocotrienol. The average yield of each component was 30.76, 30.24, 19.01 and 68.72 mg/kg of dry matter respectively. The average yield of tocopherol extracted from KML 105 cultivar after duration of storage was (6 months) 37.12 mg/kg of dry matter. The major component of extract from RD.6 cultivar were α-tocopherol, α-tocotrienol, γ-tocopherol and γ-tocotrienol. The average yield of each component was 16.98, 7.66, 3.40 and 9.06 mg/kg of dry matter respectively. Results also showed that when the extracted tocopherol from both rice cultivars at all storage times were applied to pork lard, their effectiveness as antioxidant was not different. Nevertheless, samples containing tocopherol of RD.6 cultivar were higher significantly affect than control samples ($p>0.05$). When tocopherol from RD.6 cultivar which was stored for 3 month was added in pork nuggets compared to BHA that more effective stronger antioxidant than tocopherols of RD.6 cultivar. However, product with added RD.6 cultivar tocopherol were significantly effect than control samples in term of resistance to oxidation($p<0.05$).

คำสำคัญ: รำข้าว สารละลายสกัดโทโคเฟอรอล
Keyword: rice bran, tocopherol extracts

บทนำ

อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบหรืออาหารที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมัน มักจะเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย จากผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการหืนในช่วงการเก็บรักษา สารกันหืนที่นิยมใช้ทั่วไปเป็นสารประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น บิวทิลเลตเทดไฮดรอกซ์อะนิโซล (Butylated hydroxyanisol: BHA), บิวทิลเลตเทดไฮ ดรอกซ์โทลูอีน (Butylated hydroxy-toluene: BHT) และเทอเทียรีบิวทิลไฮดรอควิโนน (Tertiary butylhydro quinone:TBHQ) เป็นต้น จากการทดลองของ Takahashi (1986 อ้างถึงใน ศิวาพร, 2535) ให้หนูบริโภคอาหารที่มีบีเอชทีร้อยละ 1.2 เป็นเวลา 2-7 วัน พบว่าหนูมีเลือดออกตามผิวหนังและตายในที่สุด ส่วนการทดลองของ Tamoro (1986 อ้างถึงใน ศิวาพร, 2535) ให้หนูบริโภคอาหารที่มีบีเอชเอร้อยละ 0.5 และ 1.0 พบว่าจะทำให้เกิดเนื้องอกขึ้นในหนู ซึ่งเป็นผลจากการสันดาป (Metabolism) ของบีเอชทีและบีเอชเอเป็นสารกลูคิวโรไนด์ (Glucuronide) ในปริมาณสูงซึ่งจะถูกขับถ่ายออกมาพร้อมปัสสาวะแต่มีปริมาณบีเอชทีและบีเอชเอน้อยมาก (Branen, 1975) แสดงว่าปริมาณการใช้ที่สูงเกินไปเป็นสาเหตุให้เกิดอาการผิดปกติได้ (ปริมาณปกติที่ใช้ในอาหารร้อยละ 0.01-0.05) ด้วยเหตุนี้เองทำให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความปลอดภัย นักวิจัยหลายท่านจึงต้องหาสารกันหืนจากแหล่งธรรมชาติที่ปลอดภัย สามารถใช้ในปริมาณที่มากกว่า อีกทั้งไม่ต้องกังวลถึงปริมาณที่เกินขีด

อันดรายและสามารถเติมได้ตามความเหมาะสมซึ่งสารกันหืนจากแหล่งธรรมชาติที่นิยมใช้ก็คือโทโคเฟอรอล (Tocopherol) หรือวิตามินอี ที่สามารถสกัดได้จากธัญญาพืชที่ให้น้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง งา เมล็ดฝ้าย และรำข้าว เป็นต้น และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการปลูกข้าวเป็นอาชีพที่สำคัญโดยปี 2543สามารถผลิตข้าวเปลือกได้ 22.99 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2543) โดยจะมีรำข้าวเป็นผลผลิตพลอยได้ ร้อยละ 8-10 จึงนับว่าเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย มีปริมาณมากและราคาไม่แพง ดังนั้นหากมีการใช้ประโยชน์จากรำข้าวเพิ่มมากขึ้น โดยนำมาเตรียมเป็นสารกันหืนจากแหล่งธรรมชาติจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากรำข้าว

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 และข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อใช้เป็นสารกันหืนจากแหล่งธรรมชาติในการชะลอการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยพบว่าการเติมโทโคเฟอรอลจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์เนื้อนักเกต (Nuggets) ที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ จะสามารถยืดอายุการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นได้นานเพิ่มขึ้น 20 วัน (Sahoo, 1997) ดังนั้นแนวโน้มในอนาคตการใช้สารกันหืนจากแหล่งธรรมชาตินำจะมากขึ้น แม้ว่าปัจจุบันจะมีการใช้สารกันหืนจากการสังเคราะห์อย่างกว้างขวาง แต่สารกันหืนจากแหล่งธรรมชาตินำจะมีความปลอดภัยมากกว่า ผู้วิจัยจึงเสนองานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของโทโคเฟอรอลที่สกัดจากรำข้าว รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในน้ำมันหมูของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในผลิตภัณฑ์นักเกตของสารละลายโทโคเฟอรอลที่สกัดจากรำข้าวกับสารกันหืนสังเคราะห์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมวัตถุดิบ

เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่ 0 เดือน (5 มกราคม 2543) สุ่มตัวอย่างวัดความชื้น ลดความชื้นข้าวเปลือกให้อยู่ช่วงร้อยละ 10-14 ใช้ระยะเวลาตากแดดประมาณ 4-5 วัน ซึ่งจะแบ่งช่วงระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกเป็น 3 ช่วง คือ 0, 3 และ 6 เดือน ตามลำดับเป็นระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม 2543 ถึงกรกฎาคม 2543 โดยบรรจุข้าวเปลือกในกระสอบป่าน เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 22-37 องศาเซลเซียสในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีพื้นที่โล่ง อากาศถ่ายเทได้สะดวก มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 50-80 จากนั้นขัดสีข้าวเปลือกทั้ง 2 พันธุ์ ด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ได้ส่วนของรำข้าวนำมาร่อนผ่านตระแกรงขนาด 14 Mesh ชั่งน้ำหนักที่ได้แล้วคงสภาพรำข้าวโดยใช้หม้อนึ่งความดันสูง ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (Poovarodom, 1982) บรรจุใส่ถุงครัยโอแวก (Cryovac) ขนาด 6x11 นิ้ว ถุงละประมาณ 400-500 มิลลิกรัม ในสภาวะสุญญากาศ ด้วยเครื่องบรรจุสุญญากาศ เก็บรักษาโดยวิธีการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -30+1 องศาเซลเซียส ก่อนทำการสกัดโทโคเฟอรอล จะนำรำข้าวมาวิเคราะห์หาความชื้น ทำเช่นเดียวกันกับข้าวเปลือกที่เก็บครบเป็นระยะเวลา 3 เดือน (7 เมษายน 2543) และ 6 เดือน (7 กรกฎาคม 2543) ตามลำดับ

2. ศึกษาชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน

2.1 ศึกษาชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน สกัดโทโคเฟอรอลจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6และรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้จากการเก็บข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือนด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล ตามวิธีของ Hu et al.(1996) โดยใช้จำนวนครั้งในการสกัด

3 ครั้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่าง วิเคราะห์ชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวด้วยโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง(High Performance Liquid Chromatrography: HPLC) ตามวิธีของ Shin and Godber (1993)

2.2 วิเคราะห์หาตัวทำละลายตกค้างในสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว 2 ชนิด คือ ไอโซโพรพานอลและเฮกเซนด้วยกาซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatrography: GC)

สุ่มสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากข้อ 2.2.1 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกไว้ที่ 0, 3 และ 6 เดือน นำมาวิเคราะห์หาตัวทำละลายตกค้างในสารละลายสกัดด้วยกาซโครมาโตกราฟี ตามวิธีของ Supleco chromatrography catalog service (1996)

2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในน้ำมันหมูของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน สุ่มตัวอย่างรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้จากการเก็บข้าวเปลือก 0, 3 และ 6 เดือน ใช้วิธีการสกัดโทโคเฟอรอลจากข้อ 2.2.1 แล้ววิเคราะห์ชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว จากนั้นเตรียมน้ำมันหมู ตามวิธีของวิไล (2526) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่าง โดยนำสารละลายโทโคเฟอรอลที่สกัดได้มาเติมในน้ำมันหมู 250 กรัม ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ของน้ำหนัก เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน กับตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมสารกันหืน) นำไปเขย่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ด้วยเครื่องบ่มเขย่า แบ่งตัวอย่างที่เติมสารกันหืนแล้วใส่ลงในหลอดแก้วในปริมาณเท่าๆ กันทุกหลอดเก็บไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 75+2 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างน้ำมันหมูมาวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ ตามวิธี AOAC (1995) ทุกๆ 2 วัน ตามวิธีของ Banias, Oreopoululou and Thonopoulos (1992) เป็นเวลา 12 วัน คำนวณค่าป้องกันการหืน (Papadopoulos and Boskou, 1991) ที่ค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่า 20 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นจุดที่เริ่มเกิดการหืนในไขมันสัตว์ (Buck, 1993) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ในน้ำมันหมู ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน ค่าป้องกันการหืน (Protection Factor: PF) คำนวณได้จาก

$$PFn = \frac{Tn}{T^{o}n}$$

n หมายถึง ค่าเปอร์ออกไซด์ที่เป็นจุดเริ่มเกิดการหืน (ในไขมันสัตว์ 20 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม)

Tn หมายถึง ระยะเวลาของตัวอย่างที่เติมสารกันหืนเริ่มเกิดการหืน

$T^{o}n$ หมายถึง ระยะเวลาของตัวอย่างที่ไม่เติมสารกันหืนเริ่มเกิดการหืน

2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกตของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวกับสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ เลือกสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารกันหืนดีที่สุดจากข้อ 2.3 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว แล้วเติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวลงในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกต ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักไขมันโดยเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกต 1 กิโลกรัม ซึ่งมีส่วนประกอบของมันหมู 240 กรัม ตามวิธีของ Henk (1989) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกต ที่เติมสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักไขมัน และเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมสารกันหืน) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่าง นำนักเกตไปทอดในน้ำมันปาล์มที่ไม่เติมสารกันหืน ทอดในหม้อทอดแบบน้ำมันท่วมปริมาตร 25x35x6 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยแบ่งตัวอย่างทอดในน้ำมันออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ที่อุณหภูมิ 190+5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วินาที

วางตัวอย่างไว้บนกระดาษซับน้ำมัน ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บรรจุในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ของบริษัทสุนีย์อุตสาหกรรม ขนาด 8x12 นิ้ว ถุงละประมาณ 400 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น 4+2 องศาเซลเซียส จากนั้นสุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ค่าทีบีเอ ตามวิธี Pearson (1976) ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 3, 5, 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ

2.5 วิธีการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อค (Randomize Complete Block Design; RCBD) ในข้อ 2.1, 2.2.1, 2.3 และ 2.4 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (Blocks) ในแต่ละตัวอย่าง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window Version 7.5 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และในข้อ 2.2.2 ทำการทดลอง 9 ซ้ำ โดยวัดค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตุที่ได้

2.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ห้องปฏิบัติการทางเคมีและห้องปฏิบัติการแปรรูป ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลที่สกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน

1.1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลที่สกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน นำสารละลายที่สกัดตามวิธีข้อ 2.2.1 ที่ทำการสกัดซ้ำ 3 ครั้ง มาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน ตามลำดับ ด้วยเครื่อง HPLC จากผลการทดลองพบว่าสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 ตรวจแยกพบโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, BT และ BT3 ซึ่งมีปริมาณโทโคเฟอรอลชนิด BT3 มากที่สุด รองลงมาคือ AT, AT3 และ BT ตามลำดับ ส่วนสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ตรวจแยกพบโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, GT และ GT3 มีปริมาณโทโคเฟอรอลชนิด AT มากที่สุด รองลงมาคือ GT3, AT3 และ GT ตามลำดับผลของชนิดและปริมาณเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวปลือก กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 1

จากผลการวิเคราะห์สารละลายสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า มีโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, BT และ BT3 โดยมีปริมาณโทโคเฟอรอลเฉลี่ยทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือก 6 เดือน เป็น 156.73 มก./กก.รำข้าวแห้ง และพบว่าปริมาณ BT ลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกนานขึ้น ($p<0.05$) (0, 3 และ 6 เดือน ตามลำดับ) มีค่าเท่ากับ 27.45, 16.19 และ 13.41 มก./กก. รำข้าวแห้ง และโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3 และ BT3 มีปริมาณเฉลี่ย 30.76, 30.24 และ 76.70 มก./กก. รำข้าวแห้ง ตามลำดับ ส่วนสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 พบว่ามีโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, GT และ GT3 โดยมีปริมาณโทโคเฟอรอลเฉลี่ยทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือก 6 เดือน เป็น 37.12 มก./กก.รำข้าวแห้งและโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, GT และ GT3 ปริมาณเฉลี่ย 15.98, 7.66, 3.40 และ 9.06 มก./กก.รำข้าวแห้งตามลำดับ (ดังตารางที่ 1) ซึ่งปริมาณโทโคเฟอรอลทั้งหมดจากรำข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีค่าต่ำกว่าผลการวิเคราะห์ของ Hu et al. (1996) ที่สกัดโทโคเฟอรอลจากรำข้าวด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล (มีปริมาณโทโคเฟอรอลทั้งหมด 171 มก./กก.รำข้าวแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากรำข้าวที่นำมาวิเคราะห์มีความแตกต่างกันของสภาวะแวดล้อมของการปลูก สถานที่ปลูก พันธุ์ และฤดูกาล เป็นต้น

1.2 ผลการวิเคราะห์หาตัวทำละลายตกค้างในสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว

ผลการวิเคราะห์หาตัวทำละลายไอโซโพรพานอลและเฮกเซนตกค้างในสารสะลายโทโคเฟอรอลที่สกัดจากรำข้าวตามวิธีข้อ 2.2.1 โดยใช้เครื่อง GC จากผลการวิเคราะห์ พบว่าไม่พบพีก (peak) ตัวทำละลายไอโซโพรพานอลและเฮกเซน ซึ่งมีค่า retention time เฉลี่ยเท่ากับ 7.13 และ 8.58 นาที ของตัวทำละลายไอโซโพรพานอลและเฮกเซนมาตรฐาน ตามลำดับ แสดงว่าไม่มีตัวทำละลายตกค้างทั้งสองชนิดนี้อยู่ในสารละลายโทโคเฟอรอลที่สกัดได้

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในน้ำมันหมูของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บข้าวรักษาเปลือกไว้ 0 ,3 และ 6 เดือน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกและพันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อระยะเวลาการหืนและค่าป้องกันการหืนอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ระยะเวลาการหืนของน้ำมันหมูตัวอย่างควบคุมจะเกิดการหืนได้เร็วกว่าน้ำมันหมูที่เติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 เมื่อพิจารณาค่าป้องกันการหืนของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข. 6 มีค่าแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมแต่ค่าป้องกันการหืนของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 มีค่าไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ดังตารางที่ 2) เนื่องจากว่าสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว กข.6 มีโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, BT และ BT3 และสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 มีโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, GT และ GT3 จากการทดลองของ Parkhurst, Shinner and Strum (1968 cited in Shin et al., 1997) พบว่า โทโคเฟอรอลชนิด GT มีความคงตัวต่อความร้อนในน้ำมันหมูอุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียลมากกว่าโทโคเฟอรอลชนิด DT มากกว่า AT ตามลำดับ ทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการหืนไม่ต่างจากสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าว กข.6 ที่ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหมูเท่ากับ 20 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ประสิทธิภาพของสารกันหืนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่เหมาะสมระดับหนึ่ง เพราะที่ความเข้มข้นต่ำไปสารกันหืนจะทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่แต่ที่ความเข้มข้นสูงอัตราของการเกิดปฏิกิริยาของสารกันหืนกับไขมันจะคงที่เนื่องจากมีปริมาณอนุมูลอิสระเปอร์ออกซี (ROO●) และอัลคอกซี (RO●) ของไขมัน อยู่จำกัด เช่น ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเป็นสารกันหืนของโทโคเฟอรอลในน้ำมันหมูคือร้อยละ 0.05 แต่ที่ความเข้มข้นของโทโคเฟอรอลร้อยละ 0.05-0.1 ในน้ำมันข้าวโพดผสมน้ำจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Huang, Frankel and German., 1994) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกันหืนและระยะเวลาที่เกิดการหืนจะขึ้นกับโครงสร้างของสารกันหืนชนิดของไขมันน้ำมัน และสภาวะที่ใช้ทดสอบ (Pokorny, 1987)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกและค่าเปอร์ออกไซด์ จะพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 3 เดือน สารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 มีปริมาณเปอร์ออกไซด์ทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรงมีค่าต่ำกว่าสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จึงเลือกเติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 3 เดือน ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกต

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกตของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวกับสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ

จากการทดลองข้อ 3.2 นำรำข้าวเปลือก กข.6 จากการขัดสีข้าวเปลือกที่มีอายุการเก็บ 3 เดือน หลังจากเก็บเก็บแช่เยือกแข็งในสภาวะสุญญากาศมาแล้ว 3 เดือน วัดปริมาณความชื้นได้ร้อยละ9.54 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอล พบว่ามีโทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, BT, BT3 เท่ากับ 20.36, 22.92, 12.44, 68.83 มก./กก.รำข้าวแห้ง ตามลำดับ มีปริมาณโทโคเฟอรอลทั้งหมดเท่ากับ 124.55 มก./กก.รำข้าวแห้ง เกิดการสูญเสียปริมาณโทโคเฟอรอลประมาณร้อยละ 40 เมื่อ

เทียบกับปริมาณโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 3 เดือน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเป็นผลจากระยะเวลาการเก็บรำข้าวแช่เยือกแข็งนานขึ้นอีก 3 เดือน จากผลของระยะเวลาการเก็บและค่าเฉลี่ยค่าทีบีเอที่ความเข้มข้นสารละลายโทโคเฟอรอรลและบีเอชเอร้อยละ 0.02 แสดงดังตารางที่ 3 จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกตที่เติมสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ, สารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 และตัวอย่างควบคุมมีผลทำให้เกิดการหืนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่าการเติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 3 เดือน มีประสิทธิภาพในการเป็นสารกันหืนด้อยกว่าสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ แต่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารกันหืนดีกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อนักเกตที่ไม่เติมสารกันหืน และจากการทดลองของ Resurreccion and Reynolds (1990) โดยวัดค่าทีบีเอและทดสอบทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกไก่ผสมหมูที่เติมโทโคเฟอรอลจากธรรมชาติ ร้อยละ 0.1 ของระดับไขมัน สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นได้เป็นระยะเวลา 18 วัน ส่วนไส้กรอกที่เติมสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ ร้อยละ 0.02 ของระดับไขมัน สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 35 วัน ซึ่งประสิทธิภาพในการเป็นสารกันหืนจะขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้น และระยะเวลาการเกิดออกซิเดชั่น (Huang et al., 1996) จากผลการทดลองพบว่าช่วงระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกตทั้ง 3 ตัวอย่างเป็นเวลา 5-7 วัน การเกิดการหืนจะไม่แตกต่างกัน และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งหลังจากวันที่ 14 การเกิดการหืนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ดังตารางที่ 3) แสดงว่าสารกันหืนที่เติมในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกตจะแสดงประสิทธิภาพได้ดีในช่วงระยะเวลาการเก็บเริ่มต้น

สรุปผล

1. พันธุ์ข้าว กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 มีผลต่อชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลที่สกัดได้ และระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก กข.6 มีผลต่อปริมาณโทโคเฟอรอลชนิด BT โดยพบว่าสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากข้าวเปลือก กข.6 มีปริมาณเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 6 เดือน มากกว่าโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งชนิดและปริมาณโทโคเฟอรอลที่พบในสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข. คือ โทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3 และ BT3 มีปริมาณเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 6 เดือนเท่ากับ 30.76, 30.24 และ 76.70 มก./กก.รำข้าวแห้ง ตามลำดับ และ BT ซึ่งลดลงในช่วงระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือก 3 และ 6 เดือน มีปริมาณ 16.19 และ 13.41 มก./กก. รำข้าวแห้ง ตามลำดับ ส่วนโทโคเฟอรอลที่พบในสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 คือ โทโคเฟอรอลชนิด AT, AT3, GT, GT3 มีปริมาณเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 6 เดือน เท่ากับ 16.98, 7.66, 3.40 และ 9.06 มก./กก. รำข้าวแห้ง ตามลำดับ

2. พันธุ์ข้าว กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 และระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนในน้ำมันหมูของสารละลายโทโคเฟอรอลที่สกัดได้ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.01 และพบว่าสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 จะมีประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนดีกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ไม่มีประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืน

3. สารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 3 เดือน เติมในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูนักเกตที่เก็บอุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 21 วัน พบว่ามีประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนด้อยกว่าสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอ แต่มีประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนดีกว่าตัวอย่างควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมูลนิธิโทเร เพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย (TTSF) ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2541

เอกสารอ้างอิง

วิไล กาญจนภูมิ. *การสกัดและการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหมู*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2526.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีการเพาะปลูก 2541/2542*. เอกสารเลขที่ 95/2541. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์; 2543

AOAC *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16th ed. Washinton D.C; 1995.

Banias C, Oreopoulou V, Thonopoulos CD. *The effect of primary antioxidants and synergists on the activity of plant extracts in land. J. Am. Oil Chem. Soc.* 1992 ; 66 (6): 520-529.

Branen AL. Toxicology and biochemical of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene. *J. Am. Oil Chem.* Soc. 1975 ; (Feb.): 58-63.

Buck DF. Antioxidant. In Smith J, editor. *Additive User's Handbook*. London. Chapman & Hall. 1993; 1-46.

Henk HW. *Milk protein: the complete guide to meat, poultyry & seafood*. Netherland. DMC Campina Publishing company, Inc. 1989 ; 122 - 123.

Hu W, Wells JH, Shin TS, Godber JS. Comparison of Isopropanol and Hexane for extraction of vitamin E and Oryzanols from stabilized rice bran. *J. Am. Oil Chem.* Soc. 1996; 73(12): 1653-1656.

Huang SW, Frankel EN, German BJ. Are tocopherol prooxidant?. In: 1994 Annual Meeting Abstract. *Inform*. 1994; 5: 462-553.

Huang SW, Hopia A, Schwarz K, Frankel EN, German BJ. Antioxidant Activity of α-Tocopherol and Trolox in different Lipid Substrances: Bulk Oil-in-Water Emulsion. *J. Agri. Food Chem.* 1996; 44: 444-452.

Papadopoulos G, Boskou D. Antioxidant effect of natural Phenols on Olive oil. *J. Am. Oil Chem Soc.* 1991; 68 (9): 669-671.

Pearson D. The Chemical analysis of food. 7th ed. London. Churchill Livingstone 1976.

Pokorny J. Major factors affecting the autoxidation of lipids. In: Chan HWS, editor. *Autoxidation of unsaturated lipids*. London. Academic Press. 1987; 141-206.

Parkhurst RM, Shinner WA, Strum PA. The effect of various concentrations of Tocopherols and Tocopherol mixtures on the Oxidative Stability of a sample lard. *J. Am. Oil Chem Soc.* 1968 ; 45 : 641-642. Cite in Shin TS, Godber JS, Martin DE, Wells JH. Hydrolytic Stability and changes in E vitamers and oryzanol of Extruded Rice Bran During Storage. J. Food Sci. 1997; 62: 704-708, 728.

Resurreccion AVA, Reynolds AE JR. Evaluation of Natural Antioxidants in Frankfurter Containing Chicken and Pork. *J. Food Sci.* 1990; 55: 629-631.

Sahoo J, Anjaneyulu ASR. Effect of Natural Antioxidants and Vacumn Packaging on the Quality of Buffalo Meat Nuggets during Refrigerated. *Meat Science* 1997; (3/4): 223-230.

Shin TS, Godber JS. Improve High Performance Liquid Chromatography of Vitamin E Vitamers on Normal-Phase Columns. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1993; 70(12): 1289-1291.

Supleco Incoporation. *Supleco Chromatography Catalog Service.* Bellefonte, PA 1996.

Takahashi O. Hemorrhage toxicity of butylated hydroxytoluene (BHT) and butylated hydroxyanisol (BHA) in the rats. *Toxicology letters.* 1986; 31: 42. อ้างถึงใน ศิวาพร ศิวเวช. วัตถุเจือปนในอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2535.

Tamaro S, Hirose M, Shibata M, Yagawa Y, Fukushima S, Ho N. Sucessful dose reponse of fore stomach tumor in F 334 rats induced by butylated hydroxyanisol. *Toxicology letters* 1986; 31: 207. อ้างถึงใน ศิวาพร ศิวเวช. วัตถุเจือปนในอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2535.

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวและ ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน

ชนิดโทโคเฟอรอลที่พบ	ค่าเฉลี่ยปริมาณโทโคเฟอรอลจากรำข้าวที่ได้จากการเก็บรักษาข้าวเปลือกช่วงต่าง ๆ (มิลลิกรัม/กิโลกรัมรำข้าวแห้ง)					
	กข.6			ขาวดอกมะลิ 105		
	0	3	6	0	3	6
อัลฟาโทโคเฟอรอล (AT)	31.22^{b} ± 3.94	31.71^{b} ± 4.36	29.35^{b} ± 6.44	13.28^{a} ± 2.66	15.60^{a} ± 5.58	22.08^{a} ± 3.25
อัลฟาโทโคไตรอินอล (AT3)	28.51^{b} ± 2.49	30.67^{b} ± 3.58	31.55^{b} ± 6.17	5.70^{a} ± 1.45	7.29^{a} ± 2.52	10.02^{a} ± 1.71
เบต้าโทโคเฟอรอล (BT)	27.45^{c} ± 10.49	16.19^{b} ± 4.47	13.41^{b} ± 4.08	0.00^{a} ± 0.00	0.00a ± 0.00	0.00a ± 0.00
แกมมาโทโคเฟอรอล (GT)	0.00a ± 0.00	0.00^{a} ± 0.00	0.00^{a} ± 0.00	2.92^{b} ± 0.38	3.25^{b} ± 1.10	4.04^{b} ± 0.34
เบต้าโทโคไตรอินอล (BT3)	75.49^{b} ± 1.33	76.16^{b} ± 11.75	78.47^{b} ± 15.23	0.00^{a} ± 0.00	0.00^{a} ± 0.00	0.00^{a} ± 0.00

ชนิดโทโคเฟอรอลที่พบ	ค่าเฉลี่ยปริมาณโทโคเฟอรอลจากรำข้าวที่ได้จากการเก็บรักษาข้าวเปลือกช่วงต่าง ๆ (มิลลิกรัม/กิโลกรัมรำข้าวแห้ง)					
	กข.6			ขาวดอกมะลิ 105		
	0	3	6	0	3	6
แกมมาโทโคไตรอินอล (GT3)	0.00^{a} +0.00	0.00^{a} +0.00	0.00^{a} +0.00	8.28^{b} +0.37	8.55^{b} +2.31	10.35^{b} +0.84
ปริมาณโทโคเฟอรอลทั้งหมด	162.67^{b} +11.13	154.73^{b} +23.34	152.79^{b} +30.02	30.19^{a} +4.55	34.69^{a} +11.48	46.48^{a} +6.07
โทโคเฟอรอลเฉลี่ย 6 เดือน	156.73	37.12				

a,b,c....ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันตามแนวนอนของข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเก็บข้าวเปลือกไว้ 0, 3, 6 เดือน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 ผลค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ตัวอย่างเริ่มหืน (IP) และค่าเฉลี่ยค่าป้องกันการหืน (PF) และค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของน้ำมันหมูที่เติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 และขาวดอกมะลิ 105 ร้อยละ 0.01 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 0, 3 และ 6 เดือน

น้ำมันหมู	ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก (เดือน)					
	0		3		6	
	IP* (วัน)	PF	IP* (วัน)	PF	IP* (วัน)	PF
เติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือก กข.6	$1.61^{B}\pm$ 0.22	$1.12^{B}\pm$ 0.20	$1.88^{B}\pm$ 0.09	$1.34^{B}\pm$ 0.08	$1.64^{B}\pm$ 0.25	$1.11^{B}\pm$ 0.31
เติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105	$1.48^{B}\pm$ 0.13	$1.03^{AB}\pm$ 0.14	$1.54^{B}\pm$ 0.28	$1.10^{AB}\pm$ 0.19	$1.77^{B}\pm$ 0.26	$1.29^{AB}\pm$ 0.18
ไม่เติมสารกันหืน	$1.43^{A}\pm$ 0.09	$1^{A}\pm$ 0.00	$1.40^{A}\pm$ 0.12	$1^{A}\pm$ 0.00	$1.37^{A}\pm$ 0.06	$1^{A}\pm$ 0.00

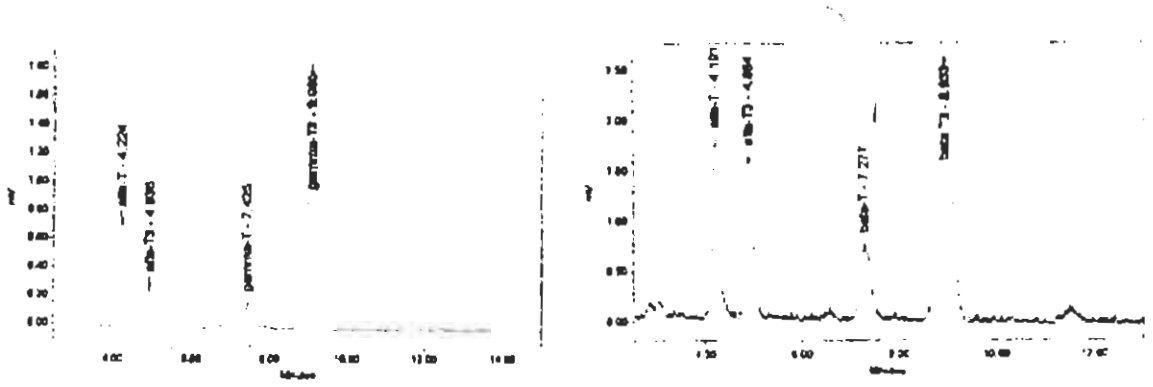
* ระยะเวลาที่ตัวอย่างเริ่มหืนมีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 20 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม (Induction Period)

A,B,C.... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 3 ผลของระยะเวลาการเก็บและค่าเฉลี่ยค่าทีบีเอและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานและผลการวิเคราะห์ความแตกต่างในผลิตภัณฑ์เนื้อนักเกตที่เติมสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวเปลือกพันธุ์ กข.6 ที่เก็บรักษาข้าวเปลือกไว้ 3 เดือน และสารกันหืนสังเคราะห์บีเอชเอที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักไขมัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ยค่าทีบีเอ(มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลรัม) ในผลิตภัณฑ์นักเกตเติม		
	บีเอชเอ	โทโคเฟอรอล	ไม่เติมสารกันหืน
0	$0.032^{aA} \pm 0.004$	$0.040^{aAB} \pm 0.013$	$0.054^{aBC} \pm 0.012$
3	$0.048^{aBC} \pm 0.015$	$0.069^{aC} \pm 0.009$	$0.091^{aD} \pm 0.011$
5	$0.040^{bA} \pm 0.081$	$0.047^{bAB} \pm 0.098$	$0.066^{bBC} \pm 0.011$
7	$0.068^{bBC} \pm 0.012$	$0.075^{bC} \pm 0.050$	$0.104^{bD} \pm 0.018$
14	$0.065^{cA} \pm 0.015$	$0.068^{cAB} \pm 0.015$	$0.068^{cBC} \pm 0.010$
21	$0.081^{cBC} \pm 0.004$	$0.086^{cC} \pm 0.018$	$0.130^{cD} \pm 0.016$

a,b,c.....ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
A,B,C...ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



(A) (B)

ภาพที่ 1 แสดงโครมาโตแกรมของสารละลายโทโคเฟอรอลสกัดจากรำข้าวขาวดอกมะลิ 105 (A) และ กข.6 (B)