การลดระยะเวลาการหมักเอทานอลในการผลิตสาโทโดยใช้ *Rhizopus* sp. และยีสต์ผสม
Decrease in ethanol fermentation time for Sato making by *Rhizopus* sp. and mixed cultures of yeasts

อรวรรณ ดีสุทธิ์ (Orawan Deesuth)[1] อมรรัตน์ สำเนียง (Amornrat Samneing)[2]
พัฒนา เหล่าไพบูลย์ (Pattana Laopaiboon)[2] กิติพงษ์ เวชกามา (Kitipong Wechgama)[3]
และ ลักขณา เหล่าไพบูลย์ (Lakkana Laopaiboon)[2]

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบระยะเวลาการหมักเอทานอลในกระบวนการผลิตสาโทระหว่างการใช้ยีสต์เดี่ยวและยีสต์ผสม โดยผลิตสาโท 4 สูตรคือ สาโทสูตรที่ 1 ใช้ยีสต์เดี่ยวของโรงงาน (หจก.สัมฤทธิ์มั่นคง) สาโทสูตรที่ 2, 3 และ 4 ใช้ยีสต์ผสมระหว่างยีสต์โรงงานและ *Saccharomyces cerevisiae* NP 01, *S. bayanus* EC 1118 หรือ *S. cerevisiae* Sweden ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า การใช้ยีสต์ผสมในสาโทสูตรที่ 2 สามารถลดระยะเวลาการหมักเอทานอลลงได้จาก 35 วัน เป็น 32 วัน โดยได้ความเข้มข้นเอทานอลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อนำสาโททั้ง 4 สูตร และสาโทสยามที่จำหน่ายในท้องตลาดมาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาโททั้ง 5 ตัวอย่าง พบองค์ประกอบทางเคมีอย่างน้อย 26 ชนิด โดยแบ่งเป็นสารระเหยหลัก 15 ชนิด กรด 7 ชนิด น้ำตาล 3 ชนิด และกลีเซอรอล เมื่อใช้วิธีสกัดปัจจัย (Principal component analysis, PCA) จำแนกกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีพบว่า สามารถแบ่งองค์ประกอบหลักออกได้เป็น 4 กลุ่ม อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักแต่ละกลุ่มไม่มีอิทธิพลต่อลักษณะด้านต่างๆ ที่ใช้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ABSTRACT

The fermentation time for Sato making by single and mixed cultures of yeasts was compared. Four Satos were produced as follows: Sato number 1 (using a single strain of yeast from the Samritmaankhong Co. Ltd. factory), and Sato numbers 2, 3 and 4 (using mixed yeasts between the factory yeast and *Saccharomyces cerevisiae* NP01, *S. bayanas* EC1118 or *S. cerevisiae* Sweden, respectively). The results showed that using mixed cultures in Sato number 2 could reduce fermentation time from 35 days to 32 days with ethanol concentration of 10% (v/v). When sensory

[1] *บัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[2] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[3] *ผู้จัดการ ศูนย์วิจัยการหมักเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
* *Corresponding author, e-mail : lakcha@kku.ac.th*

evaluation of the 4 Satos and Siam Sato (produced by Samritmaankhong Co. Ltd.) was determined by preference test, there was no significant difference among the 5 Satos ($p>0.05$). Determination of chemical compositions of the 5 Satos indicated that they contained at least 26 chemical compounds i.e. 15 main volatile compounds, 7 acids, 3 sugars and glycerol. The main chemical compounds in the Satos were classified by principal component analysis (PCA) into 4 groups. However, each group did not influence the sensory characteristics.

คำสำคัญ : การหมักเอทานอล เวลาที่ใช้ในการหมัก สาโท ยีสต์ผสม *Saccharomyces*

Keywords : Ethanol fermentation, fermentation time, Soto, mixed yeasts, *Saccharomyces*

บทนำ

สาโทคือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่เกิดจากการหมักข้าวเหนียวขาวหรือข้าวเหนียวดำด้วยลูกแป้งซึ่งใช้เป็นกล้าเชื้อที่มีรา ยีสต์ และแบคทีเรีย การใช้ลูกแป้งทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของสาโทให้คงที่ได้ ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้น ปัจจัยแปรผันสำคัญประการหนึ่งในการสร้างคุณภาพและรสชาติของสาโทที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีอายุการเก็บนาน คือกล้าเชื้อ หรือลูกแป้ง เนื่องจากกระบวนการผลิตลูกแป้งแบบดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมคุณภาพทางกายภาพเคมีและชีวภาพให้คงที่ได้ การเตรียมวัตถุดิบและวิธีการทำลูกแป้ง สภาพอากาศ ระดับความชื้นสัมพัทธ์ ตลอดจนการจัดเก็บรักษาลูกแป้งที่ไม่เหมาะสมเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนและการสูญเสียจุลินทรีย์ที่จำเป็นต่อการหมัก การผลิตสาโทจากจุลินทรีย์บริสุทธิ์จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของสาโทให้มีมาตรฐานได้

งานวิจัยนี้ศึกษาร่วมกับ หจก. สัมฤทธิ์มั่นคง ซึ่งผลิตสาโทที่มีชื่อทางการค้าว่า “สาโทสยาม” โดยใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ ซึ่งปัจจุบันใช้เวลาในการหมักนาน ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น จากงานวิจัยของพงษ์เทพและคณะ (2552) ที่ศึกษาการผลิตสาโทโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ต่างๆ พบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักยีสต์สายพันธุ์ของโรงงานสามารถผลิตเอทานอลได้ประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาในการหมักนานกว่ายีสต์อีก 3 สายพันธุ์ คือ *S. cerevisiae* NP 01, *S. bayanus* EC 1118 และ *S. cerevisiae* Sweden อย่างไรก็ตามเพื่อคงความเป็นเอกลักษณ์ของกลิ่นและรสชาติสาโทสยามที่เกิดขึ้นจากยีสต์สายพันธุ์โรงงาน และลดระยะเวลาในการหมักให้สั้นลง แนวทางแก้ไขปัญหาทางหนึ่งคือ การใช้ยีสต์ผสมของโรงงานร่วมกับยีสต์สายพันธุ์อื่นที่สามารถหมักเอทานอลได้เร็ว นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในต่างประเทศพบว่าการใช้ยีสต์ผสมสามารถช่วยทำให้กลิ่นและรสชาติของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ดีขึ้นด้วย (Panjai et al., 2009)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดระยะเวลาการหมักเอทานอลในสาโทโดยการใช้ยีสต์ผสม และเปรียบเทียบคุณภาพของสาโทระหว่างการใช้ยีสต์เดี่ยวและยีสต์ผสม

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

จุลินทรีย์และวัตถุดิบหลัก

1) รา *Rhizopus* sp. ของโรงงาน (หจก. สัมฤทธิ์มั่นคง)

2) ยีสต์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Saccharomyces* sp. ของโรงงาน, *S. cerevisiae* NP 01, *S. bayanus* EC 1118 และ *S. cerevisiae* Sweden

3) ข้าวเหนียว

วิธีการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การผลิตสาโท

หมักสาโทตามกระบวนการผลิตสาโทดังรูปที่ 1 โดยทำทั้งหมด 4 สูตรๆ ละ 4 ซ้ำ แต่ละสูตรต่างกันคือยีสต์ที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อยีสต์ ดังนี้

สาโทสูตรที่ 1 ใช้ยีสต์เดี่ยวสายพันธุ์โรงงาน
สาโทสูตรที่ 2 ใช้ยีสต์ผสมระหว่างยีสต์โรงงานกับ *S. cerevisiae* NP 01
สาโทสูตรที่ 3 ใช้ยีสต์ผสมระหว่างยีสต์โรงงานกับ *S. bayanus* EC 1118
สาโทสูตรที่ 4 ใช้ยีสต์ผสมระหว่างยีสต์โรงงานกับ *S. cerevisiae* Sweden

รูปที่ 1. กระบวนการผลิตสาโท

การติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีของสาโท

ในระหว่างกระบวนการหมักสาโทเก็บตัวอย่างสาโทที่เวลาต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Phenol sulfuric ความเป็นกรดด่างโดยใช้ pH meter ปริมาณกรดทั้งหมด โดยวิธีการไตเตรต (Zoecklien et al., 1995) และปริมาณเอทานอลโดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟ (Laopaiboon et al., 2007)

สาโทที่บรรจุขวดแล้ว นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีได้แก่ กรด น้ำตาล และกลีเซอรอล โดยใช้ลิควิดโครมาโตกราฟ (HPLC) และวัดปริมาณสารระเหยหลักต่างๆ โดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟ (Sirisantimathakom et al., 2008)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์สาโทโดยใช้ระดับคะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-points Hedonic scale) โดยทดสอบความชอบต่อลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบเป็นตัวแทนจากโรงงานจำนวน 6 คน ซึ่งทำงานในโรงงานไม่น้อยกว่า 3 ปี โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคือ สาโทที่ได้จากการหมักทั้ง 4 สูตร และสาโทสยามที่มีจำหน่ายใน

ท้องตลาด คะแนนความชอบที่มีต่อสาโทแต่ละตัวอย่างจะนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละลักษณะที่ประเมินด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Univariate) เมื่อพบความแตกต่างของตัวอย่างจะใช้ Duncan's Multiple Range Test ประเมินความแตกต่างระหว่างตัวอย่างทีละคู่

การหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักทางเคมีและความชอบ

ใช้วิธีสกัดปัจจัย (Principal component analysis) หรือ PCA ในการจำแนกองค์ประกอบหลักทางเคมี จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักที่จำแนกได้กับค่าคะแนนความชอบด้านต่างๆ และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคะแนนความชอบด้านต่างๆ ต่อค่าคะแนนความชอบโดยรวม โดยใช้ Linear regression analysis

ผลการทดลองและอภิปราย

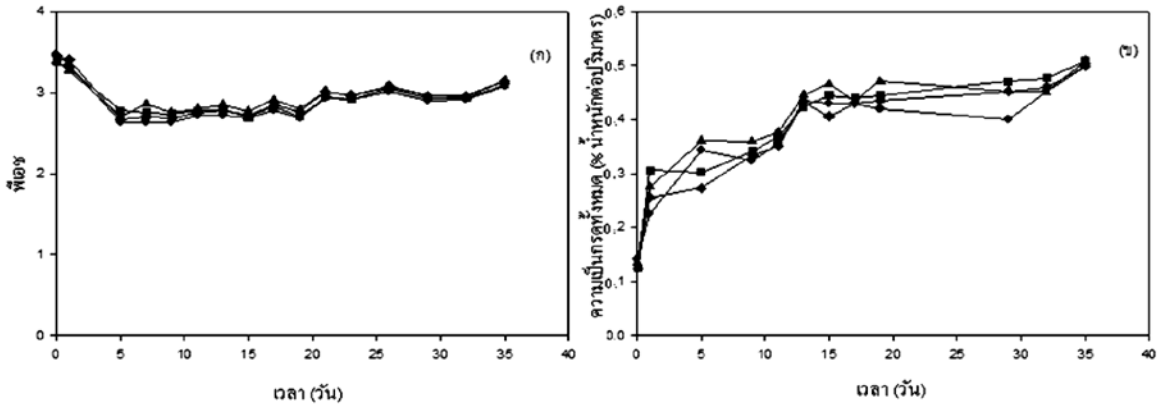
การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักสาโท

เมื่อย่อยข้าวเหนียวนึ่งสุกโดย *Rhizopus* sp. จนได้น้ำต้อยแล้ว (ใช้เวลาประมาณ 5 วัน) พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 32-34 องศาบริกซ์ หลังจากนั้นผ่าน้ำหรือเติมน้ำต้มสุกเพื่อเจือจางน้ำต้อยให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 18 องศาบริกซ์ และเติมกล้าเชื้อยีสต์ ปล่อยให้หมักที่อุณหภูมิห้องพร้อมติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมัก ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 และ 3

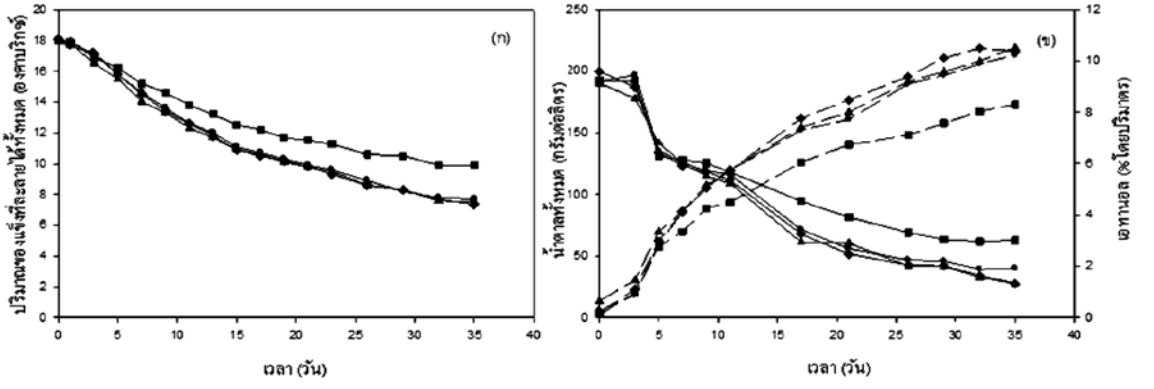
รูปที่ 2 (ก) และ (ข) พบว่า พีเอชของน้ำหมักลดลงในช่วงแรก 5 วันแรก จากนั้นพีเอชมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าประมาณ 2.6-3.0 ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่เกิดขึ้น พบว่าปริมาณกรดในน้ำหมักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 12 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.4-0.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร)

จากรูปที่ 3 (ก) และ (ข) พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงเมื่อเริ่มกระบวนการหมัก โดยสาโทสูตรที่ 4 ที่หมักโดยยีสต์ผสมระหว่างยีสต์โรงงานกับ *S. cerevisiae* Sweden จะใช้น้ำตาลช้าที่สุด ส่วนสาโทอีก 3 สูตร มีอัตราการใช้น้ำตาลใกล้เคียงกัน สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเอทานอลในระหว่างการหมักพบว่า สาโทสูตรที่ 4 มีความเข้มข้นเอทานอลต่ำสุด ส่วนสาโทอีก 3 สูตรนั้นในช่วง 10 วันแรกมีปริมาณเอทานอลที่ใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลที่ถูกใช้ไป และหลังจากวันที่ 15 พบว่าสาโทสูตรที่ 2 มีปริมาณเอทานอลที่สูงสุดและเริ่มคงที่ในวันที่ 32 โดยมีค่าประมาณ 10.6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในขณะที่ที่วันเดียวกันนี้สาโทสูตรที่ 1, 3 และ 4 มีปริมาณเอานอล 9.7, 9.8 และ 8.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่ยีสต์ผลิตเอทานอลได้สูงสุดพบว่า สาโทสูตรที่ 2 ยีสต์ใช้เวลาเพียง 32 วัน ในขณะที่สาโทสูตรที่ 1, 3 และ 4 ใช้เวลา 35 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ยีสต์ผสมสูตรที่ 2 สามารถลดระยะเวลาในการหมักลงได้ 8.6 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการใช้ยีสต์เดี่ยวสายพันธุ์โรงงาน (สูตรที่ 1) นอกจากนี้พบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก สาโทสูตรที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณเอทานอลใกล้เคียงกัน ส่วนสาโทสูตรที่ 4 มีปริมาณเอทานอลเพียง 8.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การหมักสาโทในครั้งนี้ใช้เวลาทั้งสิ้น 35 วัน ซึ่งนานกว่าการหมักสาโทโดยทั่วไป ที่ใช้เวลาการหมักเพียง 20-25 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิงานวิจัยนี้ทดลองในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทยที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 13-22 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการหมักสาโทกับทางโรงงานที่หมักในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าระยะเวลาการหมักสาโทใกล้เคียงกัน โดยทางโรงงานใช้เวลาในการหมักประมาณ 40 วัน



รูปที่ 2. การเปลี่ยนแปลงพีเอช (ก) และปริมาณกรดทั้งหมด (ข) ระหว่างกระบวนการหมักสาโท : ● สูตรที่ 1 (ยีสต์เดี่ยวของโรงงาน) ♦ สูตรที่ 2 (ยีสต์โรงงานและ *S. cerevisiae* NP 01) ▲ สูตรที่ 3 (ยีสต์โรงงานและ *S. bayanus* EC 1118) และ ■ สูตรที่ 4 (ยีสต์โรงงานและ *S. cerevisiae* Sweden)



รูปที่ 3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ก) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ข,_____) และปริมาณเอทานอล (ข,_ _ _) ระหว่างกระบวนการหมักสาโท : ● สูตรที่ 1 (ยีสต์เดี่ยวของโรงงาน) ♦ สูตรที่ 2 (ยีสต์โรงงานและ *S. cerevisiae* NP 01) ▲ สูตรที่ 3 (ยีสต์โรงงานและ *S. bayanus* EC 1118 และ ■ สูตรที่ 4 (ยีสต์โรงงานและ *S. cerevisiae* Sweden)

องค์ประกอบหลักทางเคมีของสาโท

เมื่อนำสาโทที่บรรจุขวดแล้วไปวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีจำพวกสารระเหยหลักพบว่าสาโททั้ง 5 สูตร มีองค์ประกอบหลักทางเคมีใกล้เคียงกันโดยพบองค์ประกอบอย่างน้อย 26 ชนิด (ตารางที่ 1) และเมื่อนำความเข้มข้นของสารระเหยที่วิเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารนั้นๆ ที่มนุษย์สามารถรับรู้ทางประสาทสัมผัสได้ หรือเรียกว่าค่า Threshold ของสาร โดยถ้าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold แสดงว่าสารนั้นน่าจะมีอิทธิพลต่อกลิ่นของสาโท (Moreno et al., 2005) จากตารางที่ 1 พบว่าสารที่น่าจะมีอิทธิพลต่อกลิ่นของสาโทมีอย่างน้อย 7 ชนิด คือ acetaldehyde, ethyl acetate, ethyl butyrate, ethyl hexanoate, 1-hexanol, ethyl decanoate และ isovaleric acid

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีจำพวกน้ำตาล กรด และกลีเซอรอล แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า ปริมาณ น้ำตาล กรด และกลีเซอรอลของสาโททั้ง 5 ตัวอย่าง มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณกรดแลคติกของสาโทสยาม มีค่าสูงกว่าสาโทอีก 4 สูตร ประมาณ 2-3 เท่า และปริมาณของกลีเซอรอลในสาโทสยามต่ำกว่าสาโทอีก 4 สูตร 10-20 เท่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากสภาวะและองค์ประกอบที่ใช้ในการหมักของสาโทสยามแตกต่างจากที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อนำคะแนนที่ได้มาหาความแตกต่างของคะแนนความชอบด้านต่างๆ พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) มีเฉพาะคะแนนความชอบด้านกลิ่นที่มีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยสาโทสยามมีคะแนนทางด้านกลิ่นต่ำสุด และสาโทสูตรที่ 4 มีคะแนนทางด้านกลิ่นสูงสุด (ตารางที่ 2)

การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธี PCA

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักทางเคมีในหัวข้อ 3.2 พบว่า องค์ประกอบหลักทางเคมีของสาโทมีอย่างน้อย 26 ชนิด โดยแบ่งเป็น สารระเหยหลัก 15 ชนิด น้ำตาล 3 ชนิด กรด 7 ชนิด และกลีเซอรอล ซึ่งเป็นจำนวนตัวแปรที่มาก เพื่อจะหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักทางเคมีกับค่าคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงจำเป็นต้องลดจำนวนตัวแปรลงโดยรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุดไว้ในปัจจัยเดียวกันโดยใช้วิธี PCA (ลิขิต, 2549) ผลจากการวิเคราะห์พบว่า จากองค์ประกอบหลักทางเคมีที่วิเคราะห์ได้ของสาโทสามารถแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบทางเคมีได้เป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1. องค์ประกอบหลักทางเคมีของสาโทสูตรต่างๆ

กลุ่มสาร	องค์ประกอบทางเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในสาโท					Threshold* (มิลลิกรัมต่อลิตร)
		สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สาโทสยาม	
สารระเหย	Ethanol (กรัมต่อลิตร)	75.10	79.66	83.02	85.79	69.43	-
	Acetaldehyde	22.84	32.18	87.54	55.60	135.95	110.00
	Ethyl acetate	12.98	11.10	16.63	15.57	14.35	12.00
	Ethyl butyrate	40.53	35.44	30.21	23.78	25.80	0.40
	Isobutyl alcohol	46.72	45.66	46.78	48.94	53.82	75.00
	Isoamyl acetate	2.05	1.51	0.18	-	0.22	-
	Isoamyl alcohol	13.11	13.28	13.84	13.96	12.30	60.00
	Ethyl hexanoate	70.62	64.68	60.98	53.35	63.20	0.08
	4-penten-1-ol	-	-	16.10	-	2.20	-
	1-Hexanol	12.31	12.49	13.89	13.26	30.87	1.10
	Furfural	-	0.51	-	-	-	-
	Ethyl decanoate	0.52	0.57	0.42	0.35	1.40	0.50
	Isovaleric acid	3.94	2.89	2.98	3.03	2.75	1.50
	2-Phenetyl acetate	0.05	-	-	-	0.34	1.80
	Ethyl laurate	0.16	0.35	-	-	-	-
	2-Phenethyl alcohol	12.53	12.75	13.90	15.56	27.34	200.00
	Ocatanoic acid	19.37	10.24	5.19	4.02	3.15	-
	Decanoic acid	3.56	4.12	5.49	5.40	2.87	6.00
น้ำตาล	Fructose (กรัมต่อลิตร)	36.11	38.58	38.18	43.30	19.25	-
	Glucose (กรัมต่อลิตร)	24.31	31.09	30.23	26.74	12.58	-
	Sucrose (กรัมติอลิตร)	4.31	2.27	1.07	0.12	28.97	-
กรด	Citric acid (กรัมต่อลิตร)	-	-	-	0.09	-	-
	Succinic acid (กรัมต่อลิตร)	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	-
	Lactic acid (กรัมต่อลิตร)	1.74	1.85	1.82	0.88	4.20	-
	Acetic acid (กรัมต่อลิตร)	0.89	0.97	0.88	0.94	0.50	-
Glycerol (กรัมต่อลิตร)		0.49	0.62	0.83	0.82	0.04	-

หมายเหตุ* ความเข้มข้นต่ำสุดของสารใดๆ ที่มนุษย์สามารถรับรู้ทางประสาทสัมผัสได้ (ลิขิต, 2549) สาโทสูตรที่ 1 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์เดี่ยวของโรงงาน, สาโทสูตรที่ 2 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์โรงงานกับ *S. cerevisiae* NP 01, สาโทสูตรที่ 3 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์โรงงานกับ *S. bayanus* EC 1118 และสาโทสูตรที่ 4 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์โรงงานกับ *S. cerevisiae* Sweden

ตารางที่ 2. คะแนนความชอบด้านลักษณะต่างๆ ของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ลักษณะ / ตัวอย่าง	ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	โดยรวม
สาโทสูตรที่ 1	7.8±0.4^{a}	7.5±0.5^{a}	6.8±1.0^{ab}	7.2±1.2^{a}	7.5±0.8^{a}
สาโทสูตรที่ 2	7.0±1.3^{a}	6.7±1.2^{a}	6.8±1.2^{ab}	6.3±2.0^{a}	7.2±0.8^{a}
สาโทสูตรที่ 3	7.2±1.5^{a}	6.5±2.0^{a}	7.3±1.0^{ab}	7.0±1.8^{a}	6.8±1.3^{a}
สาโทสูตรที่ 4	7.0±1.5^{a}	7.5±0.8^{a}	7.8±0.4^{a}	6.8±1.0^{a}	7.3±0.8^{a}
สาโทสยาม	7.3±0.8^{a}	7.5±1.2^{a}	5.8±1.8^{b}	6.3±1.6^{a}	6.5±1.0^{a}

หมายเหตุ : สาโทสูตรที่ 1 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์เดี่ยวของโรงงาน, สาโทสูตรที่ 2 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์โรงงานกับ *S. cerevisiae* NP 01, สาโทสูตรที่ 3 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์โรงงานกับ *S. bayanus* EC 1118 และสาโทสูตรที่ 4 คือ สาโทที่หมักโดยยีสต์โรงงานกับ *S. cerevisiae* Sweden
ระดับคะแนน : 1 = ไม่ชอบอย่างมาก, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบค่อนข้างมาก, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉยๆ, 6 = ชอบเล็กน้อย, 7 = ชอบค่อนข้างมาก, 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบอย่างมาก

ตารางที่ 3. องค์ประกอบทางเคมีที่พบในแต่ละกลุ่ม

องค์ประกอบ	สารที่พบ
1	Sucrose, Fructose, 2-Phenetyl acetate, Glycerol, Lactic acid, Ethyl decanoate, 1-Hexanol, Glucose, 2-Phenethyl alcohol, Isobutyl alcohol, Succinic, Acetaldehyde, Isoamyl alcohol และ Decanoic acid
2	Ethyl hexanoate, Ethyl butyrate, Isoamyl acetate, Octanoic acid, Ethyl acetate, Acetic acid และ Ethyl laurate
3	4-Penten-1-ol และ Citric acid
4	Furfural และ Isovaleric acid

ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักที่จำแนกได้กับค่าคะแนนความชอบด้านต่างๆ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักที่จำแนกได้กับคะแนนความชอบด้านต่างๆ โดยใช้ Linear Regression Analysis (ลิขิต, 2549) ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทั้ง 4 กลุ่มต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่า ค่า Significance ขององค์ประกอบทั้ง 4 กลุ่ม ต่อความชอบลักษณะต่างๆ สูงกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทั้ง 4 กลุ่ม ไม่มีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบในทุกๆ ด้านที่ทดสอบ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความชอบด้านต่างๆต่อคะแนนความชอบโดยรวมจากค่า Significance พบว่า ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นไม่แสดงอิทธิพลต่อความชอบโดยรวม($p>0.05$) มีเฉพาะความชอบด้านรสชาติที่มีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบโดยรวม ($p<0.05$)

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการลดระยะเวลาการหมักเอทานอลในการผลิตสาโทโดยใช้ยีสต์ผสมพบว่า การใช้ยีสต์ผสมในการหมักสาโทสูตรที่ 2 (ยีสต์โรงงานร่วมกับยีสต์ NP01) สามารถลดระยะเวลาการหมักลงได้8.6เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ยีสต์เดี่ยวสายพันธุ์โรงงาน (สาโทสูตรที่1) สาโทที่ใช้ยีสต์เดี่ยวและยีสต์ผสมทั้ง4สูตรและสาโทสยาม มีองค์ประกอบหลักทางเคมีใกล้เคียงกัน โดยเมื่อใช้วิธี PCA จำแนก สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม อย่างไรก็ตามทั้ง 4 กลุ่ม ไม่มีอิทธิพลต่อคะแนนความชอบด้านต่างๆ ($p>0.05$)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงงาน อุตสาหกรรม และวิจัย สำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2551 ขอขอบคุณ หจก.สัมฤทธิ์มั่นคง ที่ให้ความอนุเคราะห์ รา ยีสต์ และข้าวเหนียว ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ *S. cerevisiae* NP 01

เอกสารอ้างอิง

พงษ์เทพ อริยเจริญวงศ์, อรรคพล คำภูแสน, พัฒนา เหล่าไพบูลย์, กิติพงษ์ เวชกามา และ ลักขณา เหล่าไพบูลย์. 2552. การศึกษาองค์ประกอบหลักทางเคมีของสาโทที่หมักโดยยีสต์สายพันธุ์ต่างๆ ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์. **วารสารวิจัย มข** 14: 192-201.

ลิขิต ศิริสันติเมธาคม. 2549. การจัดทำดัชนีคุณภาพของสาโทจากองค์ประกอบหลักทางเคมีและระดับความชอบ. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต** สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Laopaiboon, L., Thanonkeo, P., Jaisil, P. and Laopaiboon, P. 2007. Ethanol production from sweet sorghum juice in batch and fed-batch fermentations by *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048. **World J Microbiol Biotechnol** 23: 1497-1501.

Moreno J.A., Zea, L., Moyano, L. and Medina, M. 2005. Aroma compounds as markers of the changes in sherry wines subjected to biological ageing. **Food Control** 16: 333-338.

Panjai, L., Ongthip, K. and Chomsri, N. 2009. Complex fruit wine produced from dual culture fermentation of pineapple juice with *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae*. **As J Food Ag-Ind** 2: 135-139

Sirisantimethakom, L., Laopaiboon, L., Danvirutai, P. and Laopaiboon, P. 2008 Volatile compounds of a traditional Thai rice wine. **Biotechnology** 7: 505-513.

Zoecklien, B.W., Fugelsang, K.C., Gump, B.H. and Nury, F.S. 1995. Laboratory procedures. In : **Wine Analysis and Production.** Chapman & Mall, New York.