

ปริมาณสารฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอ้อยดำสมุนไพร
Phenolic and Anthocyanin Contents and Antioxidant Activity in Medicinal Black Sugarcane

ศิริพรรณ สุขขัง¹ นงลักษณ์ เทียนเสรี^{2*} สมนึก พรหมแดง¹ ปิวิติ สุขกุล²
อภิวิชญ์ ทรงกระสินธุ์² และอนรรักษ์ อรัญญนาค²

Siriphan Sukkhaeng¹, Nongluk Teinseree^{2*}, Somnuk Promdang¹, Patiwat Sookgul²,
Apiwich Songkarsin² and Anuruck Arunyanark²

Received: January 21, 2025

Revised: February 28, 2025

Accepted: March 7, 2025

Abstract: Black sugarcane is a plant that contains a variety of bioactive compounds. This study aimed to evaluate the total phenolic and anthocyanin contents and the antioxidant activity in the juice and juicing residue of two black sugarcane genotypes and to examine the relationship among these substances. The experiment analyzed juice extracted from peeled and unpeeled stalks, rind, pith, and bagasse of 'Black Khmer' and 'Ratchaburi' genotypes, comparing extractions with water and 70% ethanol. The juice extracted with ethanol from the unpeeled stalks of the 'Black Khmer' showed the highest content of bioactive substances, including phenolics (328.48 µgGAE/mL), anthocyanins (15.30 µg/mL) and antioxidant activity (256.09 µgTE/mL). The ethanolic extract from rind and bagasse of 'Black Khmer' contained higher amounts of phenolics, anthocyanins, and antioxidant activity than those of 'Ratchaburi' genotype. However, the pith of both genotypes exhibited similar levels of these substances, with very low anthocyanin content. The ethanolic extract from the rind of 'Black Khmer' contained the highest levels of bioactive compounds with phenolics (6,937.50 µgGAE/gDW), anthocyanins (1,410.50 µg/gDW) and antioxidant activity (3,860.04 µgTE/gDW). There was a strong positive correlation between phenolics, anthocyanins, and antioxidant activity in black sugarcane juice, rind, and bagasse ($r = 0.64^{**}$ to 0.97^{**}). These findings can be used as information for further utilization of black sugarcane.

Keywords: Bagasse, Black sugarcane, Medicinal sugarcane, Sugarcane juice, Sugarcane rind

บทคัดย่อ: อ้อยดำเป็นพืชที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณฟีนอลิกรวม แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำคั้นและขานอ้อยของอ้อยดำ 2 สายพันธุ์ และหาความสัมพันธ์ ระหว่างสารแต่ละชนิด โดยศึกษาในน้ำอ้อยที่คั้นจากลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก ส่วนเปลือกอ้อย ขานอ้อย และเนื้ออ้อยของอ้อยดำ สายพันธุ์ดำเขมรและราชบุรี เปรียบเทียบระหว่างการสกัดด้วยน้ำ

¹หน่วยวิเคราะห์วิจัยพืชผักเคมี ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

¹Phytochemistry Research and Analysis Unit, Central Laboratory and Greenhouse Complex, Research and Development Institute, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

²ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

²Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agrmlt@ku.ac.th

และเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำคั้นที่สกัดด้วยเอทานอลจากลำที่ไม่เปลือกเปลือกของพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด โดยมีปริมาณฟีนอลิกรวม 328.48 $\mu\text{gGAE/mL}$ ปริมาณแอนโทไซยานิน 15.30 $\mu\text{g/mL}$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 256.09 $\mu\text{gTE/mL}$ ส่วนเปลือกและชานอ้อยสายพันธุ์ดำเขมรที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณสารฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ขาวรี แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนเนื้ออ้อยมีค่าต่าง ๆ ใกล้เคียงกันและมีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำมาก สารสกัดเอทานอลจากเปลือกอ้อยของสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด โดยมีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 6,937.50 $\mu\text{gGAE/gDW}$ ปริมาณแอนโทไซยานิน 1,410.50 $\mu\text{g/gDW}$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 3,860.04 $\mu\text{gTE/gDW}$ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างปริมาณฟีนอลิกรวม แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งในน้ำอ้อย เปลือกลำ และชานอ้อย ($r = 0.64^{**}$ ถึง 0.97^{**}) ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการใช้ประโยชน์จากอ้อยต่อไป

คำสำคัญ: ชานอ้อย, อ้อยดำ, อ้อยสมุนไพร, น้ำอ้อย, เปลือกอ้อย

คำนำ

ประเทศไทยมีพันธุ์อ้อยที่หลากหลาย แบ่งตามลักษณะ ได้แก่ อ้อยเคี้ยว อ้อยคั้นน้ำ และอ้อยน้ำตาล นอกจากนี้ยังมีกลุ่มอ้อยพันธุ์พื้นเมืองของไทย ได้แก่ อ้อยดำหรืออ้อยสมุนไพร ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับอ้อยทั่วไป แต่เปลือกมีสีเข้ม มีไขสีขาวปกคลุมลำต้นสูง 2-5 เมตร เนื้อในสีขาวฉ่ำน้ำ ส่วนใหญ่ไม่นิยมนำมารับประทาน เนื่องจากมีน้ำน้อย และรสจัด ปัจจุบันอ้อยดำได้รับการขึ้นบัญชีเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยาหลากหลาย เช่น รักษาอาการแก้ร้อนใน ลดเสมหะ รักษาอาการอักเสบ และโรคเบาหวาน (โชติอนันต์, 2553; คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2558) นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับอ้อยดำ หรืออ้อยที่มีเปลือกลำสีเข้ม เช่น แดงเข้ม ม่วงอมแดง เกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี โดยเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี (phytochemical compound) วิตามิน และแร่ธาตุหลายชนิด รวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Takara *et al.*, 2007) อ้อยดำสมุนไพรของไทยจึงประกอบไปด้วยสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิดซึ่งอาจนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

อ้อยมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลาย เช่น ฟีนอลิก (phenolics) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ไตรเทอร์เพนอยด์ (triterpenoids) ไฟโตสเตอรอล (phytosterols) และแอนโทไซยานิน (Li *et al.*, 2010; Pallavi *et al.*, 2012; Feng *et al.*, 2015; Zhao *et*

al., 2018) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการต้านออกซิเดชันด้านการอักเสบ และด้านการกลายพันธุ์ (Plat and Mensink, 2001) สำหรับสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เป็นสารที่สามารถยับยั้งหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะเข้าก่อกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายและทำหน้าที่ชะลอความเสื่อมสภาพของเซลล์ต่างๆ และยับยั้งไม่ให้เกิดการทำลายเซลล์ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน (พงศธร, 2564)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่งพบได้ตามธรรมชาติในพืชหลากหลายชนิด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) (รัตนภรณ์และคณะ, 2561) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถป้องกันโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไฮดรอกซิลของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ ด้วยการเป็นตัวรับอนุมูลอิสระและทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ โดยการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระแล้วทำให้ปฏิกิริยาล้มสลายลง (พินิจ และ โสธยา, 2556) สำหรับแอนโทไซยานินเป็นสารรงควัตถุ (pigment) ให้สีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทในการป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ โรค มะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น (อรุษา, 2554) ซึ่งจาก

การศึกษาที่ผ่านมาได้รายงานว่าพบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในอ้อยที่มีลำสีแดงหรือดำปริมาณสูงกว่าอ้อยลำสีเขียว (Feng *et al.*, 2014)

ประเทศไทยมีอ้อยดำสมุนไพรหลายสายพันธุ์ที่มีความน่าสนใจ แต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางและขาดข้อมูลทางวิชาการรองรับ โดยเฉพาะการศึกษาปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ในอ้อยดำ ซึ่งจะสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าของสินค้าจากคุณประโยชน์ของอ้อยดำ เพื่อการใช้ประโยชน์ทางยาหรือด้านอื่นๆ ได้มากยิ่งขึ้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำคั้นและส่วนที่เหลือจากการคั้นน้ำของลำอ้อยดำสองสายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ดำเขมรและราชบุรี และหาความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลองและการเตรียมตัวอย่าง

หาปริมาณสารสำคัญในอ้อยดำด้วยแผนการทดลองแบบ Factorial in completely randomize design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ การศึกษาในน้ำอ้อย ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของตัวอย่าง สารสกัด และสายพันธุ์ ส่วนการศึกษาส่วนลำที่ผ่านการคั้นน้ำ ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ ลักษณะตัวอย่าง ตัวทำละลายที่ใช้สกัด ส่วนของอ้อย และสายพันธุ์ โดยทำการศึกษาในอ้อยดำ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ อ้อยดำราชบุรีและอ้อยดำเขมร โดยทั้งสองสายพันธุ์ได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี แล้วนำมาปลูกเพื่อรวบรวมพันธุ์ที่แปลงรวบรวมพันธุ์อ้อย ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างลำอ้อยดำที่มีอายุ 6 เดือนจากแปลงปลูก จำนวน 6 ลำต่อสายพันธุ์ แบ่งตัวอย่างลำนำไปปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกอย่างละ 3 ลำ จากนั้นนำไปคั้นน้ำด้วยเครื่องหีบน้ำอ้อยจนได้น้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกและลำที่ไม่ปอกเปลือกของอ้อยดำทั้งสองสายพันธุ์ สุ่มตัวอย่างน้ำอ้อยไปวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid; TSS)

และจัดเก็บน้ำอ้อยอีกส่วนใส่ขวดแก้วที่มีฝาปิด เก็บตัวอย่างในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์

ส่วนเปลือก (rind) ที่ปอกจากลำอ้อย เนื้ออ้อย (pith) ที่ผ่านการคั้นน้ำอ้อยออกไปแล้ว และส่วนชานอ้อย (bagasse) ซึ่งเป็นส่วนของลำอ้อยที่ผ่านการคั้นน้ำโดยไม่ได้ปอกเปลือกจึงมีทั้งส่วนของเปลือกและเนื้ออ้อย นำมาแบ่งเป็นการเตรียมตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้ง โดยนำตัวอย่างสดของเปลือกเนื้ออ้อย และชานอ้อยมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำตัวอย่างมาบดโดยใช้โกร่งและเติมไนโตรเจนเหลว เมื่อบดละเอียดแล้วจัดเก็บใส่ถุงซิปล็อก แช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ สำหรับการเตรียมตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดกรองด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอน และจัดเก็บตัวอย่างที่บดละเอียดเป็นผงใส่ถุงซิปล็อก ใส่ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง

การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

ศึกษาการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 2 ชนิด โดยสุ่มตัวอย่างน้ำอ้อยปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลาย คือ น้ำกลั่นหรือเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับการวิเคราะห์แอนโทไซยานินใช้ acidified ethanol; เตรียมจาก 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล 85 มิลลิลิตร ผสมกับ 1 โมล HCl ปริมาตร 15 มิลลิลิตร) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บส่วนสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ สำหรับตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งทำโดยนำตัวอย่างปริมาณ 0.2 กรัม ใส่ลงในขวดปริมาตร 40 มิลลิลิตร มีฝา เติมตัวทำละลายน้ำกลั่นหรือเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร (สำหรับการวิเคราะห์แอนโทไซยานินใช้ acidified ethanol) ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex mixer นำไปเข้าเครื่อง sonicator (ultrasonic bath) 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำมาปรับปริมาตร

รวมเป็น 10 มิลลิลิตร ได้เป็นสารละลายใสเพื่อนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ใช้วิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงจากวิธีของ Mohd-Esa *et al.* (2010) และอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (Genesys 10S; Thermo Scientific, USA) สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายโฟลีน (Folin-Ciocalteu) ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารฟีนอลิกรวมเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้น 0-100 ไมโครกรัม

ต่อมิลลิลิตร) ในหน่วยไมโครกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ($\mu\text{gGAE/gDW}$) สำหรับตัวอย่างน้ำอ้อยแสดงในหน่วยไมโครกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential ดัดแปลงจาก Lee *et al.* (2005) โดยปิเปตสารตัวอย่างใส่หลอดทดลอง 2 หลอด ปริมาตรหลอดละ 0.5 มิลลิลิตร หลอดหนึ่งเติมสารละลาย KCl buffer pH 1.0 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร อีกหลอดเติมสารละลาย CH_3COONa buffer pH 4.5 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer จากนั้นนำไปคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินจากสมการ

$$\text{Anthocyanin} = \frac{A \times 449.2 \times \text{DF} \times 10^3}{26.900} \quad (\text{cyanidin-3-glucoside equivalent}), \mu\text{g/mL}$$

เมื่อ $(A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$
449.2 = ค่ามวลโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside

DF = ค่าการเจือจาง (dilute factor)

26,900 = ค่าโมลาร์แอบซอร์บิตีวี่ (molar absorptivity) ของ cyanidin-3-glucoside

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ใช้วิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ดัดแปลงจากวิธีของ Sittisart *et al.* (2020) และอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่อง microplate reader (Multiskan Sky, ThermoFisher Scientific, USA) โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันในหลุมไมโครเวลเพลท ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณค่า % DPPH inhibition จากสูตร % DPPH inhibition = $[(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$ โดย A_{control} คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ผสมตัวทำละลายที่ใช้ละลายสารตัวอย่าง A_{sample}

คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ผสมสารละลายตัวอย่าง เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ (trolox) ความเข้มข้น 0-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ($y=4.7903x$, $R^2 = 0.995$) คำนวณค่าการต้านอนุมูลอิสระในรูปไมโครกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ($\mu\text{gTE/gDW}$) สำหรับตัวอย่างน้ำอ้อยแสดงในหน่วยไมโครกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยแผนการทดลองแบบ factorial in CRD โดยปัจจัยที่ศึกษาในน้ำอ้อยประกอบด้วย น้ำอ้อยที่คั้นจากลำอ้อยที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก การใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่นและเอทานอล และสายพันธุ์อ้อยดำที่แตกต่างกัน สำหรับในตัวอย่างลำอ้อย

ที่ผ่านการคั้นน้ำแล้ว ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย ตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้ง การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ส่วนต่าง ๆ ของลำอ้อย คือ เปลือก เนื้ออ้อย และชานอ้อย และสายพันธุ์อ้อยดำที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) และคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของอ้อยดำสมุนไพร โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 4.2.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid; TSS) ในน้ำอ้อยดำพบว่า อ้อยดำสายพันธุ์ราชบุรีมีค่า TSS สูงกว่าอ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรทั้งในลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก โดยอ้อยดำสายพันธุ์ราชบุรีมีค่า TSS ในลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก 3.20 และ 3.63 °brix ตามลำดับ (Figure 1) ส่วนอ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีค่า TSS ในลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก 2.53 และ 3.23 °brix ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าในลำที่ไม่ปอกเปลือกมีค่า TSS สูงกว่าลำที่ปอกเปลือก แสดงว่าในเปลือกของอ้อยดำมี TSS อยู่ด้วย การปอกเปลือกจึงทำให้ TSS ในน้ำอ้อยลดลง อย่างไรก็ตามผลการ

ทดลองแสดงว่า อ้อยดำทั้งสองสายพันธุ์ต่างมีค่า TSS ที่ต่ำซึ่งแสดงว่าอ้อยดำมีความหวานต่ำ สอดคล้องกับรายงานของ โชติอนันต์ (2553) ที่กล่าวว่า อ้อยดำสมุนไพรส่วนใหญ่มีรสจืดจึงไม่นิยมนำมารับประทาน **ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำคั้น**

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยของการเตรียมตัวอย่าง ตัวทำละลายที่สกัด และสายพันธุ์ พบว่า น้ำอ้อยจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) น้ำอ้อยที่สกัดด้วยตัวทำละลายน้ำและเอทานอล ส่งผลทำให้ปริมาณสารสำคัญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้อเอทานอลสกัดได้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสายพันธุ์พบว่าอ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรี อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างสายพันธุ์อ้อยดำในปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ ยังพบปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งในปริมาณสารฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

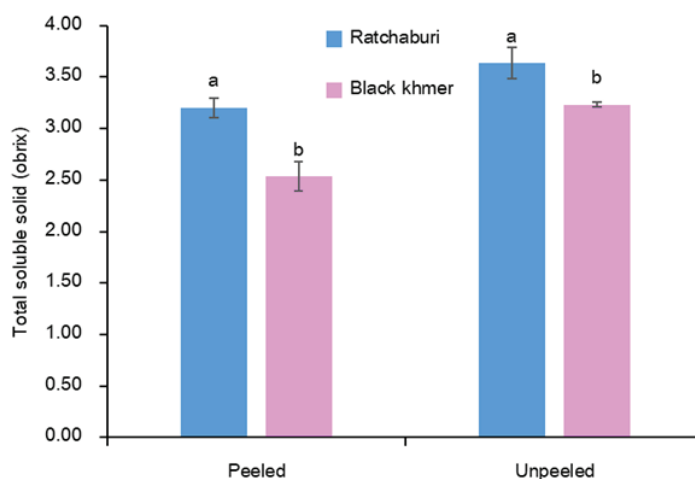


Figure 1 Comparison of total soluble solid (TSS) of black sugarcane juice from Ratchaburi and Black khmer genotypes using peeled and unpeeled canes. Error bars represent $\pm$ standard error of mean and different lowercase letters denote significant ($p < 0.05$) differences between black sugarcane genotypes

Table 1 Phenolic, anthocyanin content and antioxidant activity of peeled and unpeeled sugarcane juices compared between water and ethanol extractions of two black sugarcane genotypes.

	Phenolic ($\mu\text{gGAE/mL}$)	Anthocyanin ($\mu\text{g/mL}$)	Antioxidant activity ($\mu\text{gTE/mL}$)
Stalk preparations (SP)			
Peeled	239.02 b	0.23 b	164.51 b
Unpeeled	292.25 a	11.3 a	199.7 a
F-test	**	**	**
Extractions (Ext)			
Water	252.05 b	5.16 b	155.17 b
Ethanol	279.22 a	6.38 a	209.04 a
F-test	*	**	**
Genotypes (G)			
Ratchaburi	269.82	4.17 b	181.55
Black khmer	261.46	7.36 a	182.66
F-test	ns	**	ns
SP x Ext	ns	**	**
G x SP	**	**	**
G x Ext	ns	**	*
G x SP x Ext	ns	**	**
C.V. (%)	9.83	11.79	5.49
Mean	265.64	5.77	182.1

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD).

ns, not significant at $P < 0.05$; *, significant for $P < 0.05$; **, significant for $P < 0.01$.

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในน้ำคั้นของอ้อยดำแยกระหว่างน้ำอ้อยที่ถูกคั้นด้วยลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก พบว่า น้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกของอ้อยดำสายพันธุ์ราชบุรีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ดำเขมรทั้งการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำหรือเอทานอล (Figure 2A, C, E) แต่ในน้ำอ้อยจากลำที่ไม่ปอกเปลือก อ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรีทั้งการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำหรือเอทานอล (Figure 2B, D, F) การสกัดด้วยเอทานอลจากน้ำคั้นลำที่ไม่ปอกเปลือกของพันธุ์

ดำเขมรให้ปริมาณสารสำคัญสูงสุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก $328.48 \mu\text{gGAE/mL}$ ปริมาณแอนโทไซยานิน $15.30 \mu\text{g/mL}$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $256.09 \mu\text{gTE/mL}$ แสดงว่าแอนโทไซยานินเป็นสารหลักที่พบในเปลือก การคั้นน้ำแบบปอกเปลือกจึงทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำคั้นลดลงในทั้ง 2 สายพันธุ์ ขณะเดียวกันสารกลุ่มฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงเช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาในอ้อยน้ำตาลที่พบว่า น้ำอ้อยที่คั้นจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีปริมาณสารแอนโทไซยานิน สารฟลาโวนอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระ และโพลีฟีนอลสูงกว่าน้ำอ้อยที่คั้นจากลำที่ปอกเปลือก (Afiah et al., 2018) เป็นที่น่าสังเกตว่าน้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกของสายพันธุ์ราชบุรีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ดำเขมร อาจเนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นนอกเหนือจากแอนโทไซยานินสะสมที่บริเวณเนื้ออ้อย สารประกอบฟีนอลช่วยยับยั้งการเกิด lipoperoxidation ในไมโครโซมที่เกิดจากอนุมูลอิสระ โดยสารสกัดฟีนอลทำให้เกิด lipoperoxidation ลดลงในระบบประสาท (Duarte-Almeida *et al.*, 2006)

และน้ำอ้อยที่คั้นน้ำจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีสีเข้มกว่าน้ำคั้นจากลำที่ปอกเปลือกเป็นเพราะเปลือกอ้อยมีสีเข้ม และสีของเปลือกอ้อยเกิดขึ้นมาจากสองสีพื้นฐาน คือ สีแดงอมม่วงของแอนโทไซยานิน และสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งแอนโทไซยานินยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่าอีกด้วย (นิศารัตน์, 2556)

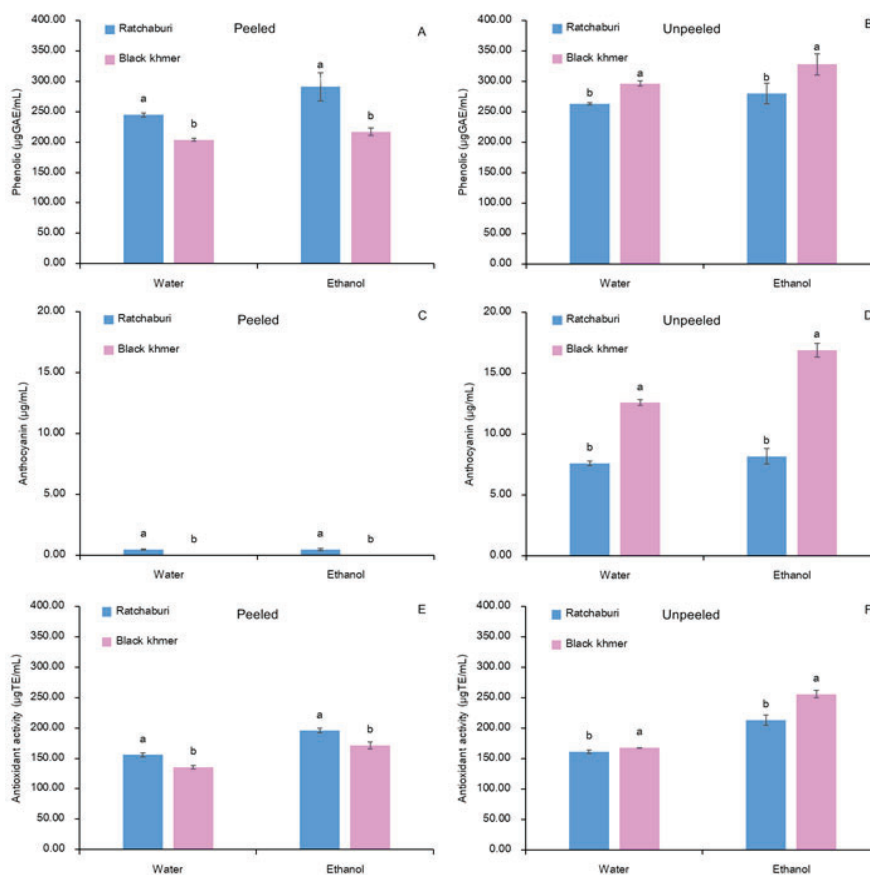


Figure 2 Comparison of phenolic content of peeled (A) and unpeeled (B), anthocyanin content of peeled (C) and unpeeled (D), and antioxidant activity of peeled (E) and unpeeled (F) sugarcane juices between extracted with water and ethanol from Ratchaburi and Black khmer genotypes. Error bars represent $\pm$ standard error of mean and different lowercase letters denote significant ($p < 0.05$) differences between black sugarcane genotypes

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในส่วนลำที่ผ่านการคั้นน้ำ

เมื่อพิจารณาปัจจัยของลักษณะตัวอย่าง ตัวทำละลายที่สกัด ส่วนของอ้อย และสายพันธุ์ พบว่าการสกัดตัวอย่างแห้งของลำที่ผ่านการคั้นน้ำด้วยตัว

ทำละลายเอทานอลได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้เป็นตัวทำละลาย (Table 2) โดยส่วนเปลือกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือส่วนชานอ้อย และส่วนเนื้ออ้อยซึ่งต่ำที่สุด และยังพบความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างสายพันธุ์อ้อยดำ โดยสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารต่าง ๆ สูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรี นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งในปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และแอนโทไซยานินในส่วนเนื้อลำ เปลือกลำ และชานอ้อยของอ้อยดำแยกกระหว่างการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำและเอทานอล แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรีทั้งในส่วนเปลือกและชานอ้อย ยกเว้นในส่วนเนื้อลำที่มีค่าต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน (Figure 3A–F) ส่วนเปลือกที่สกัดด้วยเอทานอลจากสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ สูงที่สุด โดยมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 6,937.50 $\mu\text{gGAE/gDW}$ ปริมาณแอนโทไซยานิน 1,410.50 $\mu\text{g/gDW}$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 3,860.04 $\mu\text{gTE/gDW}$ ซึ่งมีค่าต่างจากการรายงานของ Zhao *et al.* (2018) ที่วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในเปลือกอ้อยที่มีสีสีแดง พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานิน 110.6–132.0 $\mu\text{g/gDW}$ (วิเคราะห์ด้วย HPLC) ปริมาณฟีนอลิกอิสระ (free phenolic) เท่ากับ 6.50–7.36 mgGAE/gDW ปริมาณสารสำคัญที่ต่างกันอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ สภาพการปลูก และวิธีการสกัดสาร เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณแอนโทไซยานินในส่วนเนื้อ ต่ำมากทั้งสายพันธุ์ราชบุรีและสายพันธุ์ดำเขมร (Figure 3C, D) แต่พบว่าส่วนเนื้ออ้อยยังมีสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกไม่ได้พบที่เปลือกเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟีนอลิกพบมากที่เปลือก แต่มีสารประกอบฟีนอลิกอื่นที่ไม่ใช่กลุ่มแอนโทไซยานินสะสมในส่วนเนื้ออ้อย ดังเช่นที่มีรายงานว่าพบสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก ได้แก่ p-coumaric acid, ferulic acid, p-hydroxybenzaldehyde, vanillin และ vanillic acid ในส่วนเนื้ออ้อย (Leal *et al.*, 1994)

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า วิธีการสกัดสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้าน

อนุมูลอิสระในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำควรใช้ตัวอย่างแห้งและใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถสกัดสารสำคัญเหล่านี้ออกมาได้สูงที่สุด และยังพบสารเหล่านี้ในส่วนเปลือกสูงที่สุดอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสารเหล่านี้มีปริมาณแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ โดยในการสกัดด้วยการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรีทั้งในส่วนเปลือกและชานอ้อย แต่ในส่วนเนื้อ ลำสายพันธุ์ทั้งสองมีปริมาณสารทั้งสองชนิดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันมากนัก จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำสมุนไพร ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่สูงมาก จึงควรศึกษาหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำสมุนไพรต่อไป สอดคล้องกับการศึกษาของ Zheng *et al.* (2017) ที่พบว่า ในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง อีกทั้งยังมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ α -glucosidase sucrase และ maltase ได้ในระดับสูงอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบสาร 5 ชนิด ในปริมาณสูง คือ tricin 4-O-guaiacylglyceryl ether-7-O-glucoryranoside, genistin, p-coumaric acid, quercetin และ genistein จากข้อมูลงานวิจัยนี้จึงบ่งชี้ว่าในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วสามารถใช้เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง และใช้เป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าของสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรได้อีกด้วย นอกจากส่วนของน้ำอ้อยและลำหลังการคั้นน้ำแล้ว จากรายงานของ กัญญารัตน์ และประทีป (2561) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกของอ้อยดำพื้นเมืองเปรียบเทียบกับหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ยังพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมในส่วนของใบมีค่ามากกว่าลำต้น โดยใบของอ้อยดำพื้นเมืองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด แสดงว่า ส่วนของใบอ้อยดำยังมีคุณสมบัติที่ดีมีโอกาสนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

Table 2 Phenolic, anthocyanin content and antioxidant activity in different cane samples, extractions, cane parts, and genotypes of black sugarcane.

	Phenolic ($\mu\text{gGAE/mL}$)	Anthocyanin ($\mu\text{g/mL}$)	Antioxidant activity ($\mu\text{gTE/mL}$)
Cane samples (CS)			
Fresh samples	1,274.90 b	55.96 b	1,158.20 b
Dry samples	2,733.10 a	247.33 a	1,788.80 a
F-test	**	**	**
Extractions (Ext)			
Water	1,630.90 b	83.05 b	1,352.70 b
Ethanol	2,377.10 a	220.24 a	1,594.30 a
F-test	**	**	**
Cane parts (CP)			
Flesh	937.30 c	3.90 c	787.50 c
Stalk bark	3,532.50 a	405.87 a	2,556.00 a
Bagasse	1,542.30 b	45.15 b	1,077.00 b
F-test	**	**	**
Genotypes (G)			
Ratchaburi	1,830.30 b	85.49 b	1,427.00 b
Black khmer	2,177.70 a	217.79 a	1,520.00 a
F-test	**	**	**
CS x Ext	**	**	**
CS x CP	**	**	**
G x CS	**	**	**
Ext x CP	**	**	*
G x Ext	**	**	ns
G x CP	**	**	**
CS x Ext x CP	**	**	**
G x CS x Ext	*	**	**
G x CS x CP	**	**	*
G x Ext x CP	*	**	*
G x CS x Ext x CP	ns	**	ns
C.V.	11.12	37.6	9.8
Mean	2,004.00	151.64	1,473.50

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by Least significant difference (LSD). ns, not significant at $P < 0.05$; *, significant for $P < 0.05$; **, significant for $P < 0.01$.

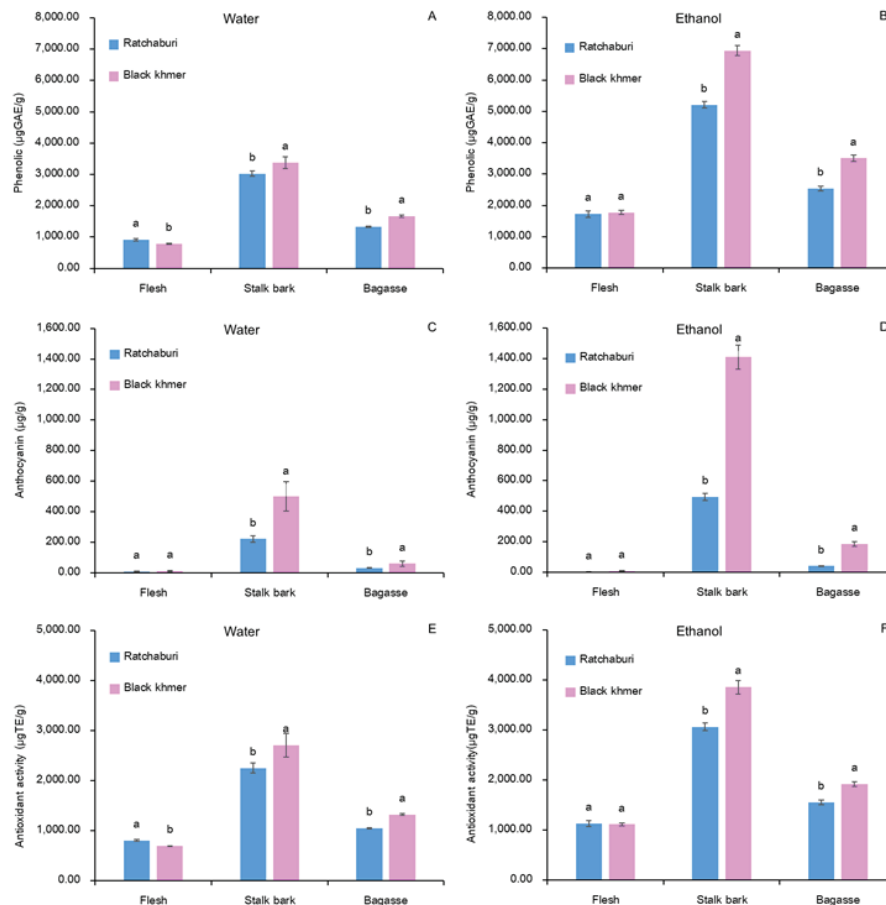


Figure 3 Comparison of phenolic content extracted with water (A) and ethanol (B), anthocyanin content extracted with water (C) and ethanol (D), and antioxidant activity extracted with water (E) and ethanol (F) in dry samples between pith, rind and bagasse of Ratchaburi and Black Khmer genotypes. Error bars represent $\pm$ standard error of mean and different lowercase letters denote significant ($p < 0.05$) differences between black sugarcane genotypes

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ อ้อยดำ

การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในส่วนน้ำอ้อย เปลือก ชานอ้อย และเนื้ออ้อย (Table 3) พบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในน้ำอ้อย เนื้ออ้อย เปลือก และชานอ้อย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่าง 0.73** ถึง 0.97** และพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในน้ำอ้อย เปลือก

และชานอ้อย โดยมีค่า r ระหว่าง 0.64** ถึง 0.92** แต่ไม่พบความสัมพันธ์ในส่วนของเนื้ออ้อย โดยมีค่า r เท่ากับ 0.29 นอกจากนี้ พบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในน้ำอ้อย เปลือก และชานอ้อย โดยมีค่า r ระหว่าง 0.72** ถึง 0.90** แต่ไม่พบความสัมพันธ์ในส่วนของเนื้ออ้อย โดยมีค่า r เท่ากับ 0.28 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในส่วนของเปลือก มีค่าสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าส่วนเปลือก ชานอ้อย และน้ำอ้อย มีสารแอนโทไซยานินเป็นสารหลักในกลุ่มสารโพลีฟีนอลที่พบในอ้อยดำ และส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

หากมีปริมาณสารหนึ่งสารใดสูงจะส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย เมื่อพิจารณาส่วนเนื้ออ้อยพบเฉพาะความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกโดยมีค่า r เท่ากับ 0.82 สนับสนุนผลที่ว่าส่วนเนื้ออ้อยมีสารประกอบฟีนอลิกตัวอื่นที่ไม่ใช่แอนโทไซยานินที่มีฤทธิ์

ต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระยังถูกพบในพืชอื่น ๆ เช่น องุ่น บลูเบอร์รี่ และข้าวฟ่าง (Eliseu *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2019; Muzolf-Panek and Was'kiewicz, 2022) เป็นต้น

Table 3 Correlation coefficients (r) between phenolic, anthocyanin content and antioxidant activity in different cane parts of black sugarcane.

($n = 24$)

Cane parts	Phenolic & Antioxidant activity	Anthocyanin & Antioxidant activity	Phenolic & Anthocyanin
Sugarcane juices	0.73 **	0.64 **	0.72 **
Pith	0.82 **	0.29	0.28
Rind	0.97 **	0.92 **	0.90 **
Bagasse	0.90 **	0.73 **	0.85 **

** Significant at the 0.01 probability levels.

สรุป

เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ จากน้ำอ้อยและส่วนลำห้หลังคั้นน้ำของอ้อยดำเนื่องจากสามารถสกัดสารออกมาได้มากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย โดยในส่วนลำห้หลังคั้นน้ำควรเตรียมเป็นตัวอย่างแห้งเนื่องจากสามารถสกัดสารเหล่านี้ออกมาได้สูงสุด น้ำอ้อยที่ได้จากการคั้นน้ำจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าลำที่ปอกเปลือก ส่วนเปลือกมีสารแอนโทไซยานินเป็นสารหลักในกลุ่มสารโพลีฟีนอลที่พบในอ้อยดำ ส่วนเนื้ออ้อยมีสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน ที่ส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และพบว่าสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสายพันธุ์ราชบุรี นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอ้อยดำมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกทั้งในน้ำอ้อย เนื้ออ้อย เปลือก และขานอ้อย จากการศึกษาแสดงว่าในน้ำอ้อยและส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ค่อนข้าง

สูง จึงควรมีการศึกษาเพื่อหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากน้ำอ้อยและส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำสมุนไพรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน และได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านอ้อย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตรกำแพงแสน และศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนสายพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

กัญญรัตน์ เหลืองประเสริฐ และประทีป อุปแก้ว.

2561. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของอ้อยดำพื้นเมืองสำหรับพัฒนาเป็นพืชอาหารสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49(2)(พิเศษ): 137–140.

- คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2558. ช้อยดำ. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://pharmacy.su.ac.th/herbmed/herb/text/herb_detail.php?herbID=280 (16 ตุลาคม 2565).
- ไซตोनันต์อินทุสไตรกุล. 2553. สมุนไพรไทยสำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน. กรุงเทพมหานคร. 354 หน้า.
- นิศารัตน์ ศิริวัฒนเมธานนท์. 2556. สารเคมีที่มีประโยชน์จากผักผลไม้ที่มีสีม่วงและสีน้ำเงิน. มหาวิทยาลัยมหิดล คณะเภสัชศาสตร์. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/152/> (16 ตุลาคม 2565).
- พงศธร โมธรรม. 2564. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากขาน้อยที่ผ่านการแยกส่วนด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม. 62 หน้า.
- พินิจ แจกอิน และโสธยา แก้วลา. 2556. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก. โครงการวิจัยคุรุศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. พิษณุโลก.
- รัตนภรณ์ จันทร์ทิพย์, นริศรา ไล่เลิศ, วิวัฒน์ หวังเจริญ, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และดวงพร อมรเลิศพิศาล. 2561. ผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายโก. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติประจำปี 2561 วันที่ 11-13 ธันวาคม 2561 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.
- อรุษา เขาวนลิขิต. 2554. การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 3(6): 26-36.
- Afiqah, N., M. Murad, and E.M. Esah. 2018. Physicochemical, antioxidant and microbial properties of fresh black stem sugarcane juice with addition of calamansi juice. *Sains Malaysiana* 47: 2047-2054.
- Choi, S.C., J.M. Kim, Y.G. Lee and C. Kim. 2019. Antioxidant activity and contents of total phenolic compounds and anthocyanins according to grain colour in several varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Cereal Research Communications* 47(2): 228-238.
- Duarte-Almeida, J.M., A.V. Novoa, A.F. Linares, F.M. Lajolo and M.I. Genovese. 2006. Antioxidant activity of phenolics compounds from sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) juice. *Plant Foods for Human Nutrition* 61(4): 187.
- Eliseu, R., P. Naira, I.I. Rockenbach, L.V. Gonzaga, C.R. Mendes and F. Roseane. 2012. Phenolic compounds and antioxidant activity of blueberry cultivars grown in Brazil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 31(4): 911-917.
- Feng, Y., G. De Franceschi, A. Kahraman, M. Soste, A. Melnik, P.J. Boersema, P. P., de Laureto, Y. Nikolaev, A.P. Oliveira and P. Picotti. 2014. Global analysis of protein structural changes in complex proteomes. *Nature Biotechnology* 32(10): 1036-1044.
- Feng, S., Z. Luo, B. Tao and C. Chen. 2015. Ultrasonic-assisted extraction and purification of phenolic compounds from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) rinds. *LWT - Food Science and Technology* 60(2): 970-976.
- Leal, E.R., R.R. Vázquez and T. Galindo. 1994. Separation of phenolic compounds from sugarcane bagasse pith and their determination by HPLC. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 14(3): 369-382.

- Lee, J., R. Durst and R. Wrolstad. 2005. Aoac official method 2005.02: total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method. *In*: Horowitz, H. editor. Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. Washington D.C.:AOAC. 2005.02.
- Li, X., S. Yao, B. Tu, X. Li, C. Jia and H. Song. 2010. Determination and comparison of flavonoids and anthocyanins in Chinese sugarcane tips, stems, roots, and leaves. *Journal of Separation Science* 33(9): 1216–1223.
- Mohd-Esa, N., F.S. Hern, A. Ismail and C.L. Yee. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food Chemistry* 122: 1055–1060.
- Muzolf-Panek, M. and A. Was'kiewicz, 2022. Relationship between phenolic compounds, antioxidant activity and color parameters of red table grape skins using linear ordering analysis. *Applied Sciences* 12: 6146.
- Pallavi, R., S. Elakkiya, S.S.R. Tennety and P.S. Devi. 2012. Anthocyanin analysis and its anticancer property from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) peel. *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry* 2(2): 338–345.
- Plat, J. and R.P. Mensink. 2001. Effects of plant sterols and stanols on lipid metabolism and cardiovascular risk. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases* 11(1): 31–40.
- Sittisart, P., B. Dunkhunthod and C. Chuea-nongthon. 2020. Antioxidant and anti-inflammatory activities of ethanolic extract from *Hoya kerrii* Craib. *Chiang Mai Journal of Science* 47(5): 912–925.
- Takara, K., K. Otsuka, K. Wada, H. Iwasaki and M. Yamashita. 2007. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity and tyrosinase inhibitory effects of constituents of sugarcane molasses. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 71(1): 183–191.
- Zhao, Z., H. Yan, R. Zheng, M.S. Khan, X. Fu, Z. Tao and Z. Zhang. 2018. Anthocyanins characterization and antioxidant activities of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) rind extracts. *Industrial Crops and Products* 113: 38–45.
- Zheng, R., S. Su, H. Zhou, H. Yan, J. Ye, Z. Zhao, L. You and X. Fu. 2017. Antioxidant/antihyperglycemic activity of phenolics from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse and identification by UHPLC-HR-TOFMS. *Industrial Crops and Products* 101: 104–114.