

การวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงดองจากร้านค้าในเขตเทศบาลเมือง
จังหวัดสกลนคร โดยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี
Analysis of boric acid content in pickled mangoes from Municipal Shops
in Sakon Nakhon Province Using UV-Visible Spectroscopy

ณัฐพงษ์ ศรีสุข^{1*} วารุณี บุรีมาต²

Nattapong Srisook^{1*} Warunee Bureemat²

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20131

²กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนมัธยมศึกษาเทศบาล 3 "ยุติธรรมวิทยา" 194 ถนนใสสว่าง ตำบลธาตุเชิงชุม

อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

*Corresponding author E-mail: nattapon@buu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงดองจากร้านค้าในเขตเทศบาลเมืองจังหวัดสกลนคร ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างกรดบอริกกับขมิ้นในสถานะที่เป็นกรดสูงและปราศจากน้ำ ได้สารประกอบสีแดงของโรโซไซยานิน (Rosocyanine) ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ผลการวิจัยพบว่า กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดบอริก (0.02, 0.04, 0.08, 0.16 และ 0.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9964 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.002 ถึง 0.005 ผลการวิเคราะห์หากรดบอริกในมะม่วงดอง 5 ร้านค้า พบว่า มีปริมาณกรดบอริกเท่ากับ 0.572 ถึง 1.15 ไมโครกรัมต่อกรัม จากร้านค้าทั้งหมด มี 3 ร้านค้า ที่ตรวจพบปริมาณกรดบอริกประมาณ 0.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนอีก 2 ร้านค้า ตรวจพบปริมาณกรดบอริกในระดับที่สูงกว่า 1.15 และ 0.803 ไมโครกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 391 (พ.ศ. 2561) ปรากฏว่า มะม่วงดองจากทั้ง 5 ร้านค้า ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีกรดบอริก (วัตถุต้องห้ามในอาหาร) เกินปนในอาหารเกินกว่ากำหนด

คำสำคัญ : อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ปริมาณกรดบอริก มะม่วงดอง สกลนคร

Abstract

In the present study, quantitative analysis of boric acid in pickled mangoes has been done by using UV-VIS spectroscopy. The samples were bought from five shops in Muang District, Sakon Nakorn province. The reaction between boric acid and curcumin yielded a rosocyanine compound (red color), absorbing light at a wavelength of 550 nm. From the result, the standard curve between absorbance and boric acid concentration (0.02, 0.04, 0.08, 0.16 and 0.24 $\mu\text{g/mL}$) was linear, with an R^2 value of 0.9964 and a standard deviation ranging from 0.002-0.005. The results from pickled mangoes (five shops) indicated that the amount of boric acid ranged from 0.572 to 1.15 $\mu\text{g/g}$. The samples from three shops contained boric acid levels of about 0.5 $\mu\text{g/g}$, which was lower than the samples from two shops (1.15 and 0.803 $\mu\text{g/g}$). A comparison of the present results with the criteria from the Ministry of Public Health Issue 391 B.E. 2561 suggested that all

pickled mangoes from these five shops were unsafe for consumers because the presence of boric acid (a prohibited substance) exceeded the criteria.

Keywords : UV-Visible Spectroscopy, Boric Acid, Pickled Mango, Sakon Nakorn Province

บทนำ

กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3) เป็นที่รู้จักโดยทั่วไปว่า บอแรกซ์ (Borax) น้ำประสานทอง ผงกรอบ เฟ่งแซ (รู้จักในหมู่ชาวจีน) มีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมเตตระโบเรตเดคาไฮเดรต (Sodium tetraborate decahydrate, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) จัดเป็นวัตถุเจือปนที่ห้ามใช้ในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 391 (พ.ศ. 2561) (กระทรวงสาธารณสุข, 2561) เนื่องจากสารบอแรกซ์มีความเป็นพิษต่อร่างกายอย่างมาก โดยผลต่อร่างกายจะรุนแรงมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารบอแรกซ์ที่ร่างกายได้รับ สารบอแรกซ์สามารถสะสมในเนื้อเยื่อ ไขมัน และทำให้ไตอักเสบ ถ้าผู้บริโภคได้รับสารบอแรกซ์เข้าสู่ร่างกายประมาณ 5-15 กรัม จะมีอาการ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ตะคริวที่ช่องท้อง แสบร้อนและมีผื่นแดงตามผิวหนัง รวมทั้งเยื่อต่าง ๆ ระบบการไหลเวียนโลหิตในร่างกายล้มเหลว หัวใจเต้นเร็วผิดปกติ ผิวหนังเป็นสีเขียวคล้ำเนื่องจากขาดออกซิเจน เพื่อหลีกเลี่ยงอาการเป็นพิษจากสารบอแรกซ์จะปรากฏภายหลังได้รับสารเป็นเวลา 2-3 วัน และอาจแสดงอาการรุนแรงจนถึงแก่ชีวิตได้ ภายหลังสารบอแรกซ์เข้าสู่ร่างกายเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง ถ้าเด็กได้รับสารบอแรกซ์ในปริมาณเท่ากับ 4.5-14 กรัม ผู้ใหญ่ได้รับสารบอแรกซ์ในปริมาณเท่ากับ 15-30 กรัม อาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ ถึงแม้ว่ากระทรวงสาธารณสุขได้ประกาศว่า สารบอแรกซ์เป็นวัตถุที่ห้ามใช้ในอาหาร แต่ปรากฏว่าผู้ประกอบการบางกลุ่มยังใช้สารบอแรกซ์ในอาหารและขนมต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเน่าเสีย หรือทำให้อาหารมีลักษณะเหนียวและกรอบ สารบอแรกซ์มีลักษณะเป็นผงสีขาวคล้ายแป้ง ไม่มีกลิ่น ผู้จำหน่ายบรรจุสารบอแรกซ์ในซองพลาสติกเพื่อวางจำหน่ายตามร้านขายของชำ รู้จักในชื่อ ผงกรอบหรือผงเหนียว มีสรรพคุณ ใช้ประกอบอาหารทุกชนิดเพื่อให้กรอบ นุ่ม น้ามาผสมในอาหารหลายประเภท เช่น ลูกชิ้นเนื้อเพื่อให้มีความเหนียว และยืดหยุ่นผิดปกติ เรียกว่า ลูกชิ้นเต๋อ อาหารชุบแป้งทอดต่าง ๆ เช่น กลัวยแซก มันทอด ที่ทอดทิ้งไว้เป็นเวลานานแล้ว แต่ยังคงความกรอบได้ตลอดวัน หรือขนมประเภททับทิมกรอบหรือวุ้นกรอบ ที่มีลักษณะกรอบกรอบผิดปกติ แม้แต่ในผักตบและผลไม้ดองยังพบว่ามีการเติมสารบอแรกซ์ลงไปเพื่อให้กรอบ จากการสำรวจและวิเคราะห์ผลไม้ดอง ของฝ่ายวิเคราะห์คุณค่าอาหารและเครื่องดื่ม กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ พบปริมาณสารบอแรกซ์ในผลไม้ดองเท่ากับ 150–16,579 มิลลิกรัม ในผลไม้หนัก 1 กิโลกรัม จึงเห็นได้ว่า แม้กระทรวงสาธารณสุขจะประกาศห้ามใช้สารบอแรกซ์ในการประกอบอาหารทุกประเภท แต่ยังมีผู้ฝ่าฝืนใช้สารนี้ผสมลงในอาหารหลายชนิดที่ขายกันอยู่ทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายอย่างยิ่งต่อสุขภาพของผู้บริโภค อาหารที่มีสารบอแรกซ์ผสมอยู่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เนื่องจากสารบอแรกซ์มีลักษณะคล้ายแป้งไม่มีกลิ่น ผู้บริโภคจึงต้องพิจารณาจากลักษณะและความกรอบของอาหารเท่านั้น ถ้าอาหารใดมีความกรอบผิดปกติหรือผิดธรรมชาติของอาหาร เช่น อาหารชุบแป้งทอดที่ทอดไว้นาน ๆ ยังคงกรอบอยู่ได้ตลอดวัน อาจมีการเติมสารบอแรกซ์ในการประกอบอาหารนั้น (ดารณี หมู่จรรยาพันธ์, 2546; ชนินทร์ เจริญพงศ์ และคณะ, 2542; วินศ ภูมินาถ, 2547)

ปริมาณกรดบอริกปนเปื้อนในอาหารทั้งเนื้อสัตว์ ผลไม้ และอาหารแปรรูป ได้ถูกศึกษาวิจัยและรายงานอย่างต่อเนื่องในเอกสารงานวิจัย ยกตัวอย่างเช่น รัตนา มหาชัย และ วิรัช ว่องพัฒน์กุล (2536) ศึกษาปริมาณสารบอแรกซ์ในผลไม้ดองและผลไม้แช่อิ่มจำนวน 60 ตัวอย่าง จากพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 6 ชนิด ๆ ละ 10 ตัวอย่าง ช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนธันวาคม 2536 ด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี โดยอาศัยการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนโรโบเรเคอคูมิน (สีแดง) ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร พบว่า มีปริมาณบอแรกซ์ในตัวอย่างทั้งหมด

เท่ากับ 0.00 ถึง 0.80 ส่วนในล้านส่วน มะม่วงดองและฝรั่งดองตรวจพบปริมาณสารบอแรกซ์สูงที่สุด มาลี เจริญวิทย์วรกุล (2543) ศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในอาหาร ผ่านปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดบอริกกับสารละลายขมิ้นในสภาวะกรด ได้สารประกอบสีแดงของโรโซไซยานิน ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในอาหารหลายชนิด (กุ่มแซ่แซ่ แม่กะพูนหมักเกลือ ลูกชิ้นปลา ลูกชิ้นหมู ไส้กรอก หมูบด วุ้น มะม่วงดอง และหัวผักกาดแห้งปรุงรส) จากแหล่งจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร เขตนนทบุรี และกองอาหารส่งออก กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ตรวจพบกรดบอริกในอาหาร 20 ตัวอย่าง จาก 45 ตัวอย่าง และมีปริมาณกรดบอริกอยู่ในช่วง 5.1 ถึง 786.0 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยมะม่วงดองพบการปนเปื้อนสูงสุด นภาพร เชี่ยวชาญ, ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี และ วลัยพร ศรีชุมพวง (2549) ศึกษาสารเคมีเจือปนในผลไม้ดอง โดยสุ่มตรวจผลไม้ดอง (258 ตัวอย่าง) ในเขตกรุงเทพฯ และจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยชุดทดสอบจากกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข พบว่า ผลไม้ดองมีสารบอแรกซ์เจือปนคิดเป็นร้อยละ 60.46 สารกันราเจือปนคิดเป็นร้อยละ 87.98 และสีสังเคราะห์เจือปนคิดเป็นร้อยละ 60.85 ศุภกัญญา ทองเดชาสามารถ และ งามอาจ มณีใหม่ (2565) ศึกษาสารปนเปื้อน 5 ชนิด (ยาฆ่าแมลง บอแรกซ์ ฟอรัมาลิน สารฟอกขาว และสารกันรา) ณ สถานที่จำหน่ายอาหาร ในจังหวัดกาญจนบุรีระหว่างปี พ.ศ. 2560–2563 พบว่า จากตัวอย่างอาหารทั้งหมด (4,482) พบสารปนเปื้อนร้อยละ 4.46 และสารปนเปื้อนที่พบมากที่สุดถึงน้อยสุด คือ ฟอรัมาลิน ยาฆ่าแมลง สารกันรา และบอแรกซ์ นอกจากนี้ตัวอย่างอาหารมีการปนเปื้อนมากที่สุดจากตลาดนัดและพื้นที่อำเภอเมืองกาญจนบุรี กาญจนฯ ด้านขุนทด, พันธุ์ทิพย์ หงส์กลาง และ อนุสรณ์ เป้าสูงเนิน (2566) ศึกษาการปนเปื้อนสารบอแรกซ์ในอาหาร 5 ชนิด (ลูกชิ้นหมู หมูยอ เนื้อหมูบด ทับทิมกรอบและผักกาดดอง) รวม 103 ตัวอย่าง จากตลาดสด 11 ตลาด ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ด้วยชุดทดสอบสารบอแรกซ์ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ พบว่า มีการปนเปื้อนสารบอแรกซ์ 10 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 9.7 และมี 5 ตลาด พบอาหารปนเปื้อนสารบอแรกซ์

จากการศึกษานานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบสารบอแรกซ์ในผลไม้ดองพบว่า ทำได้ด้วยปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารบอแรกซ์ (ในรูปของกรดบอริก) และขมิ้น (Curcumin หรือ 1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadien-3,5-dione) ในสภาวะกรดซัลฟิวริกและปราศจากน้ำ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโรโซไซยานิน (Rosocyanine) ที่มีสีแดง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ความเข้มแสงที่ถูกดูดกลืนโดยสารบอแรกซ์-โรโซไซยานิน สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณสารบอแรกซ์ได้อย่างแม่นยำ โดยอาศัยกฎของเบียร์ (Beer's law) (ชุติมา คูสมุท และ ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง, 2534; มาลี เจริญวิทย์วรกุล, 2543; Harris and Lucy, 2020)

การปนเปื้อนของกรดบอริกในอาหาร ย่อมก่อให้เกิดโทษต่อผู้บริโภคอาหารนั้นโดยตรงทั้งระยะสั้นและระยะยาว ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเก็บตัวอย่างมะม่วงดองและฝรั่งดองวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกในมะม่วงดองในอำเภอเมืองจังหวัดสกลนคร ทั้งร้านค้าขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เพื่อประเมินความปลอดภัยของมะม่วงดองต่อผู้บริโภคว่าสอดคล้องกับประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 391 (พ.ศ. 2561) ที่กำหนดว่า ห้ามใช้กรดบอริกในอาหาร

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ 1. เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกในมะม่วงดอง จากเขตเทศบาลเมืองจังหวัดสกลนคร ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และ 2. เพื่อประเมินความปลอดภัยของมะม่วงดอง ในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร จากข้อกำหนดปริมาณกรดบอริกในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 391 (พ.ศ. 2561)

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

- 1.1 เครื่องมือ วิเคราะห์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์, รุ่น UV 160-1, บริษัท ชิมาดซุ จำกัด (Shimadzu)
- 1.2 เครื่องเขย่า (Shaker), บริษัท โทมเนอ จำกัด (Troemner)
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง, รุ่น AW 220, บริษัท ชิมาดซุ จำกัด (Shimadzu)
- 1.4 กระดาษกรองเบอร์ 93, บริษัท วอทแมน จำกัด (Whatman)
- 1.5 หลอดทดลองขนาดกลาง
- 1.6 กรดบอริก (H_3BO_3) ความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.7 โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรส์ (Anhydrous Na_2SO_4), เกรด AR, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.8 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Concentrated HCl), เกรด AR, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.9 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Concentrated H_2SO_4), เกรด AR, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.10 อะซิโตน (C_3H_6O), เกรด AR, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.11 2-เอทิล-1,3-เฮกเซนไดออล ($C_8H_{18}O_2$), เกรด AR, บริษัท เอโครส์ออร์แกนิกส์ จำกัด (Acros organics)
- 1.12 เฮกเซน ($n-C_6H_{14}$), เกรด AR, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.13 บิวทิลอะซิเตท ($n-C_4H_9O_2$), เกรด AR, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.14 กรดอะซิติกกลacial (CH_3COOH), เกรด AR, บริษัท เมอร์ค จำกัด (Merck)
- 1.15 น้ำมัน ($C_{21}H_{42}O_6$), เกรด AR, บริษัท ฟลูคา จำกัด (Fluka)

2. ขอบเขตของการวิจัย

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทองจากเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร ด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี (มาลี เจริญวิทย์วรกุล, 2543)



ภาพที่ 1 มะม่วงทองจากเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร จำนวน 5 ร้านค้า

3. การเตรียมสารละลาย

3.1 รีเอเจนต์ที่ 1 หรือสารละลาย 2-เอทิล-1,3-เฮกเซนไดออล เข้มข้น 5 %v/v ในบิวทิลอะซิเตท ต่อเฮกเซนในอัตราส่วน 1 ต่อ 4 เตรียมโดยปิเปต 2-เอทิล-1,3-เฮกเซนไดออล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และตวง บิวทิลอะซิเตท ปริมาตร 190 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซน จนถึงขีด

3.2 สารละลายขี้ผึ้งเข้มข้น 0.375 %w/v เตรียมโดยชั่งขี้ผึ้งหนัก 0.3750 กรัม ละลายด้วยการตะขิดก ถ่ายไอออนสารละลายนี้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยการตะขิดกจนถึงขีด

3.3 สารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมโดย ชั่งกรดบอริกหนัก 0.1024 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ถ่ายไอออนสารละลายนี้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด ได้สารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด

4. การสร้างกราฟมาตรฐาน

4.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร

4.2 เติมน้ำรีเอเจนต์ที่ 1 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งสารละลายไว้ให้แยกชั้น ไซสารละลายชั้นล่างลงบีกเกอร์ แล้วไซสารละลายชั้นบนลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

4.3 เทสารละลายชั้นล่างกลับลงกรวยแยก ทำการทดลองตามข้อ 4.2 อีก 2 ครั้ง โดยเก็บสารละลายชั้นบนไว้ในขวดรูปชมพู่ขวดเดิม

4.4 เติมน้ำเค็มซัลเฟตแอนไฮไดรส์ ประมาณ 20 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่เพื่อดูน้ำ

4.5 กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยรีเอเจนต์ที่ 1 จนถึงขีด

4.6 ปิเปตสารละลายในข้อ 4.5 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบด้วย รีเอเจนต์ที่ 1 จะได้สารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

4.7 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ปรับปริมาตรด้วยรีเอเจนต์ที่ 1 ให้ได้ปริมาตรรวม 3.0 มิลลิลิตร

4.8 ปิเปตสารละลายขี้ผึ้งปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ใช้จุกยางปิดหลอดทดลอง เขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

4.9 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกัน ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยอะซิโตนเขย่าให้สารละลายผสมกันอีกครั้ง ได้สารละลายมาตรฐานกรดบอริก ความเข้มข้น 0.020 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร จำนวน 5 ครั้ง

4.10 ทำการทดลองตามข้อ 4.7-4.9 ซ้ำ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.50, 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดบอริก ความเข้มข้น 0.040, 0.080, 0.16 และ 0.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.11 ทำการทดลองตามข้อ 4.7-4.9 ซ้ำ โดยใช้รีเอเจนต์ที่ 1 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร แทนสารละลายมาตรฐานกรดบอริกเข้มข้น 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

4.12 คำนวณค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง และสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดบอริก

5. การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทอง

5.1 พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ เขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร ซ้อมะม่วงทองที่ถูกหั่นเป็นชิ้นพอรับประทานแช่น้ำดองในขวดโหลจากร้านค้าขนาดใหญ่ 3 ร้านค้า (A-C) และร้านค้าขนาดเล็ก 2 ร้านค้า (D-E) ในปริมาณที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ทั้งหมดและนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกทันที

5.2 ทำการสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกโดย ชั่งตัวอย่างมะม่วงทอง จากร้าน A ที่ บดละเอียด 5.0 กรัม (A1) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร

5.3 เติมรีเอเจนต์ที่ 1 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากันประมาณ 2 นาที เติมโซเดียม ซัลเฟตแอนไฮไดรส์ประมาณ 20 กรัม คนให้เข้ากันประมาณ 2 นาที กรองสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

5.4 ทำการทดลองตามข้อ 5.3 ซ้ำ 2 ครั้ง (แต่ไม่ต้องเติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรส์เพิ่ม) โดยกรองใส่ ขวดวัดปริมาตรขวดเดียวกัน ปรับปริมาตรด้วยรีเอเจนต์ที่ 1 จนถึงขีด

5.5 ปิเปตสารละลายในข้อ 5.4 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายไขมัน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริกปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใช้จุกยางปิดหลอดทดลอง เขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

5.6 เติมน้ำกลั่น 3.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้สารละลายผสมกัน ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยอะซิโตนเขย่าให้สารละลายผสมกัน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร จำนวน 5 ครั้ง

5.7 ทำการทดลองตามข้อ 5.2-5.6 ซ้ำอีก 4 ครั้ง โดยใช้มะม่วงทองจากร้านค้า A (A2-A5)

5.8 ทำการทดลองตามข้อ 5.2-5.7 โดยใช้มะม่วงทองจากร้านค้า B, C, D และ E

5.9 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสง และคำนวณหาปริมาณกรดบอริกที่พบในมะม่วงทอง โดยใช้สมการเส้นตรงในกราฟมาตรฐาน (ภาพที่ 2)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลในการวิจัยถูกวิเคราะห์ โดยการหาค่าเฉลี่ย (AVE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ด้วย โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

ผลการวิจัย

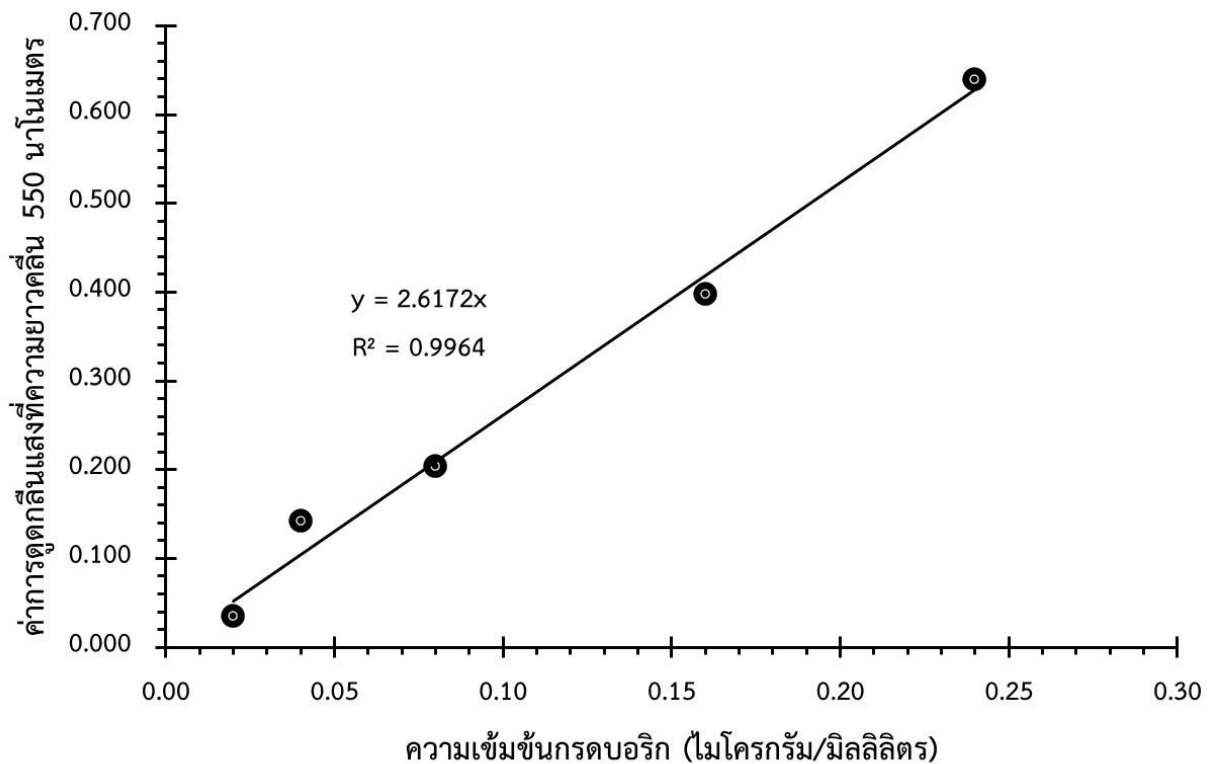
1. กราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานของกรดบอริก สร้างขึ้นจากสารละลายมาตรฐานกรดบอริกที่ความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.08, 0.16 และ 0.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายไขมันเพื่อให้เกิดสารประกอบ โรโซไซยานินที่มีสีแดง (ชุดิมา คูสมุท และ ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง, 2534) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร จำนวน 5 ครั้ง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกรดบอริกที่ความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.08, 0.16 และ 0.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์หากรดบอริกด้วยสารละลายไขมัน

ความเข้มข้นกรดบอริก ($\mu\text{g/mL}$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร					AVE $\pm$ S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0.02	0.040	0.038	0.035	0.032	0.032	0.035 $\pm$ 0.004
0.04	0.144	0.144	0.142	0.142	0.140	0.142 $\pm$ 0.002
0.08	0.208	0.204	0.202	0.202	0.202	0.204 $\pm$ 0.003
0.16	0.405	0.397	0.402	0.395	0.392	0.398 $\pm$ 0.005
0.24	0.643	0.640	0.638	0.638	0.635	0.639 $\pm$ 0.003

จากข้อมูลในตารางที่ 1 สร้างกราฟมาตรฐานโดยให้แกน x เป็นความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน กรดบอริก และแกน y เป็นค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ลากเส้นตรงให้ผ่านจุดทุกจุดมากที่สุดด้วย Least squares method โดยประมาณว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดบอริกและค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงเป็นแบบเส้นตรง กราฟมาตรฐานที่ได้แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และความเข้มข้นของกรดบอริก

2. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริก

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกในมะม่วงแดง ทำโดยซื้อมะม่วงแดงที่จำหน่ายในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร จำนวน 5 ร้านค้า ทำการสกัดกรดบอริกด้วยรีเอเจนต์ที่ 1 ตามขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริก (มาลี เจริญวิทย์วรกุล, 2543) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร จำนวน 5 ครั้ง ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2

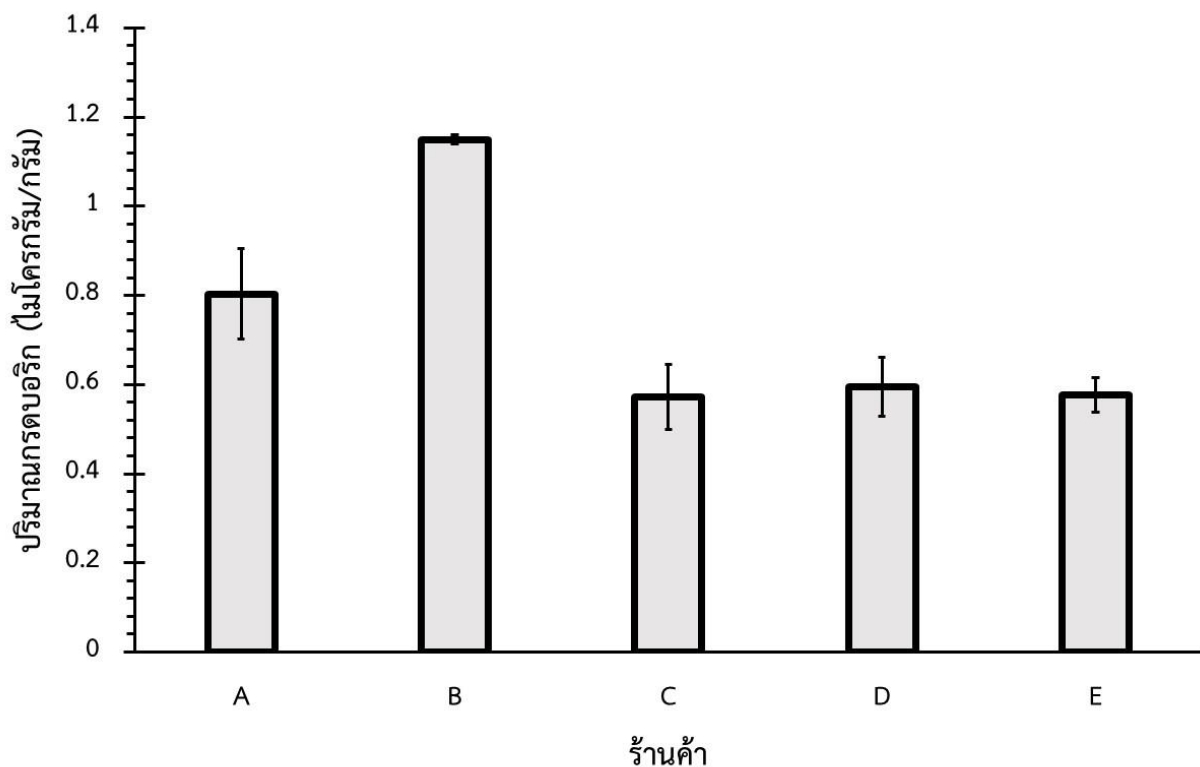
ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ได้จากการสกัดกรดบอริกจากมะม่วงแดงร้านค้า A B C D และ E ทำการวิเคราะห์ซ้ำจำนวน 5 ครั้ง แต่ละครั้งวัดค่าการดูดกลืนแสงจำนวน 5 ค่า

ร้านค้า	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร, AVE±S.D.				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
A	0.425±0.002	0.380±0.002	0.428±0.002	0.367±0.003	0.503±0.002
B	0.603±0.004	0.605±0.002	0.603±0.003	0.598±0.003	0.594±0.004
C	0.289±0.007	0.261±0.001	0.296±0.001	0.288±0.003	0.363±0.002
D	0.363±0.002	0.276±0.002	0.316±0.002	0.282±0.001	0.318±0.002
E	0.271±0.001	0.315±0.001	0.319±0.001	0.312±0.001	0.293±0.002

จากข้อมูลในตารางที่ 2 คำนวณหาปริมาณกรดบอริกด้วยสมการเส้นตรงในกราฟมาตรฐาน ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทองหนัก 1 กรัม จำนวน 5 ร้านค้า

ร้านค้า	ปริมาณกรดบอริก (ไมโครกรัมต่อกรัม)					AVE±S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
A	0.812	0.726	0.817	0.701	0.960	0.803±0.102
B	1.15	1.16	1.15	1.14	1.13	1.15±0.011
C	0.552	0.498	0.565	0.550	0.693	0.572±0.073
D	0.693	0.527	0.603	0.539	0.607	0.594±0.066
E	0.518	0.601	0.609	0.596	0.560	0.577±0.038



ภาพที่ 3 กราฟปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทองหนัก 1 กรัม จำนวน 5 ร้านค้า

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 3 พบว่า ปริมาณกรดบอริกที่พบในมะม่วงทองมีมากที่สุดและน้อยที่สุดในร้านค้า B และ C ตามลำดับ ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทองจำนวน 5 ร้านค้า อยู่ในช่วง 0.572-1.15 ไมโครกรัมต่อกรัม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้านค้า A มีค่าสูงสุด อาจสะท้อนถึงตัวอย่างมะม่วงทองมีกรดบอริกผสมอยู่แตกต่างกันมากกว่าร้านค้าอื่น ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแตกต่างกันน้อยกว่า (0.073 ถึง 0.011)

วิจารณ์ผล

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทองด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี โดยกำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างเป็นเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร จาก 5 ร้านค้า แบ่งเป็นร้านค้าขนาดใหญ่ 3 ร้าน และร้านค้าขนาดเล็ก 2 ร้านค้า โดยผู้วิจัยคาดคะเนว่า มะม่วงทองจากร้านค้าทั้งหมด ไม่มีกรดบอริกเจือปน เนื่องจากกรดบอริกเป็นวัตถุต้องห้ามตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 391 (พ.ศ. 2561) ถ้าผู้บริโภคได้รับกรดบอริกในปริมาณมาก อาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ แต่จากการสังเกตเนื้อของมะม่วงทองของร้านค้า A และ B พบว่าเนื้อมะม่วงมีลักษณะแน่น และมีความกรอบมากกว่าปกติ เมื่อทดลองเก็บผลิตภัณฑ์มะม่วงทองในตู้เย็นเป็นเวลา 7 วัน โดยไม่แช่น้ำที่ใช้อย่าง ปรากฏว่า ลักษณะเนื้อและสี ไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก ส่วนมะม่วงทองจากร้านค้า C, D และ E มะม่วงทองมีสีซีด เนื้อมะม่วงไม่แน่น และค่อนข้างนุ่มเหนียว เมื่อทดลองเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 7 วัน โดยไม่แช่น้ำที่ใช้อย่าง ปรากฏว่ามะม่วงทองของทั้ง 3 ร้านค้าเนื้อมะม่วงเปื่อยยุ่ย และมีราขึ้น จากที่กล่าวมา ทำให้ผู้วิจัยคาดการณ์ว่า ผลิตภัณฑ์มะม่วงทองจากร้านค้า A และ B น่าจะมีปริมาณกรดบอริกเจือปนอยู่ จึงทำให้มะม่วงทองมีลักษณะเปลี่ยนแปลงน้อยได้ ส่วนร้านค้า C-E น่าจะไม่มีปริมาณกรดบอริกเจือปนในมะม่วงทอง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทอง ด้วยวิธีวิธีวิธีสเปกโทรสโกปี พบว่า มะม่วงทองจากร้านค้ามีกรดบอริกเจือปนอยู่ และมีปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.572-1.15 ไมโครกรัมต่อกรัม ถ้าจำแนกตามร้านค้า พบว่า ร้านค้า A และ B มีปริมาณกรดบอริกที่ตรวจพบเท่ากับ 0.803 และ 1.15 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงกว่าร้านค้า C, D และ E ความแตกต่างของปริมาณกรดบอริกอาจเนื่องมาจาก ร้านค้า A และ B ตั้งอยู่ในเขตชุมชนและแหล่งท่องเที่ยวที่มีร้านค้าหลายร้านจำหน่ายมะม่วงทองเช่นเดียวกัน ทำให้มีสภาวะการแข่งขันทางการค้าสูง และจากความเชื่อว่า กรดบอริกช่วยเพิ่มความกรอบและทำให้เก็บรักษามะม่วงทองได้เป็นเวลานาน รวมทั้งช่วยปรุงแต่งให้มีรสชาติและลักษณะที่น่ารับประทาน จากสาเหตุที่กล่าวมานี้ จึงอาจเป็นแรงจูงใจให้ ผู้ผลิตมะม่วงทองอาจเติมกรดบอริกลงในมะม่วงทองในปริมาณค่อนข้างสูง และส่งมาจำหน่ายในร้านค้า A และ B สอดคล้องกับ ศุภกัญญา ทองเดชาสามารถ และ งามใหม่ (2565) ที่พบสารปนเปื้อน (ยาฆ่าแมลง บอแรกซ์ ฟอรัมาลิน และสารฟอกขาว) ในอาหาร ณ สถานที่จำหน่ายอาหารในจังหวัดกาญจนบุรีระหว่างปี พ.ศ. 2560-2563 และพื้นที่อำเภอเมืองและตลาดนัดพบการปนเปื้อนมากที่สุด เนื่องจากมีสภาวะการแข่งขันทางการค้าสูง ส่วนร้านค้า C, D และ E มีปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทองเท่ากับ 0.572, 0.594 และ 0.577 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ อาจเนื่องมาจาก มีสถานที่ตั้งอยู่หน้าโรงเรียนในเขตเทศบาลเมือง (ร้านค้า C) และบริเวณขนส่งจังหวัด (ร้านค้า D และ E) ซึ่งในบริเวณนั้น มีร้านค้าประเภทเดียวกันน้อย จึงมีสภาวะการแข่งขันทางการค้าต่ำ ด้วยเหตุนี้ ผู้ผลิต (อาจเป็นผู้จำหน่ายด้วย) จึงมีแรงจูงใจน้อย และอาจเติมกรดบอริกลงในมะม่วงทองบ้าง แต่ในปริมาณต่ำกว่าร้านค้า A และ B

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทอง ด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี มาเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 391 (พ.ศ. 2561) พบว่า มะม่วงทองจากทั้ง 5 ร้านค้า ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีปริมาณกรดบอริกเจือปนอยู่ในช่วง 0.572-1.15 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งหากผู้บริโภค (ผู้ใหญ่หรือเด็ก) ได้รับกรดบอริกเข้าสู่ร่างกายในช่วง 4.5-30 กรัม ก็จะเกิดอาการป่วยจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ ดังนั้นผู้บริโภคควรมีความระมัดระวังและคอยสังเกตลักษณะมะม่วงทองให้ดี ก่อนหาซื้อมารับประทาน เพื่อป้องกันอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตของผู้บริโภค

สรุปผล

วิธีวิธีวิธีสเปกโทรสโกปีถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทอง ที่วางจำหน่ายในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร จำนวน 5 ร้านค้า ทั้งร้านค้าขนาดใหญ่และขนาดเล็ก พบว่า มีปริมาณกรดบอริกอยู่

ในช่วง 0.572-1.15 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่เกินจากเกณฑ์ที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขที่ได้กำหนดให้กรดบอริกเป็นวัตถุต้องห้าม ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย ดังนั้น มะม่วงต้องสุ่มตรวจจาก 5 ร้านค้า ในเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร จึงไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และไม่ควรบริโภคในปริมาณมาก เพื่อลดความเสี่ยงต่ออันตรายจากการบริโภคต่อสุขภาพและชีวิต ผลการวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทอง และเป็นข้อมูลเพิ่มเติมต่อผู้บริโภคมะม่วงทองจากร้านค้าในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร

ข้อเสนอแนะ คือ 1. ควรสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในมะม่วงทองเพิ่มเติมจากร้านค้าในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสกลนคร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาได้ 2. ควรปรับปรุงวิธีการเตรียมตัวอย่าง ผสมตัวอย่างมะม่วงทองที่เก็บมาจากร้านค้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนตัวอย่างมะม่วงทองของร้านค้านั้น แล้วจึงสุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดบอริกต่อไป และ 3. ควรเพิ่มกระบวนการในการวิเคราะห์ เพื่อควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ให้มีความถูกต้องและแม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. 2561, 31 สิงหาคม. เรื่อง กำหนดอาหารที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 391 (พ.ศ. 2561).
- กาญจนา ด้านขุนทด, พันธุ์ทิพย์ หงส์กลาง และ อนุสรณ์ เป่าสูงเนิน. 2566. ความชุกของการปนเปื้อนสารบอแรกซ์ในอาหารในตลาดสดเขตเทศบาลนครนครราชสีมา. น. 2002-2010. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 15 เรื่องวิจัยและพัฒนา บนฐานเศรษฐกิจ BCG สู่การพัฒนาประเทศไทยอย่างยั่งยืน 13-14 กรกฎาคม 2566. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.
- ชนินทร์ เจริญพงศ์, ประธาน ประเสริฐวิทยาการ, วัฒนา อัครเอกมอลิน และผดุงกิจ สงวนวัฒนา. 2542. การสำรวจสถานการณ์ของ "บอแรกซ์" วัตถุห้ามใช้ในอาหาร. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.
- ชุติมา คูสมุท และทิพย์วัลย์ คำเหม็ง. 2534. การวิเคราะห์หาปริมาณบอแรกซ์สารต้องห้ามในอาหารประเภทเนื้อสัตว์แปรรูปบางชนิด ในจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดใกล้เคียง. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ดารณี หมู่ขจรพันธ์. 2546. บอแรกซ์พิษภัยของผู้บริโภค. วารสารเพื่อคุณภาพ, 9(66): 41-45.
- นภาพร เชี่ยวชาญชัยรัตน์ ตั้งดวงดี และวลัยพร ศรีชุมพวง , 2549. สารเจือปนในผลไม้ทองที่จำหน่ายโดยผู้ค้าในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ. วารสารอาหาร, 36(4): 347-355.
- มาลี เจริญวิทย์วรกุล. 2543. การวิเคราะห์ปริมาณกรดบอริกในอาหาร. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 42(1): 72-81.
- รัตนา มหาชัย และวิรัช ว่องพัฒนากุล. 2536. การวิเคราะห์หาปริมาณบอแรกซ์ในผลไม้ทอง. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- วินศ ภูมินาถ. 2547. สารบอแรกซ์และโอกาสปนเปื้อนในอาหาร. วารสารอาหาร, 34(2): 140-142.

- ศุภกัญญา ทองเดชาสามารถ และองอาจ มณีใหม่. 2565. สถานการณ์ความปลอดภัยในอาหาร ณ สถานที่จำหน่ายอาหารในจังหวัดกาญจนบุรี: การศึกษาเชิงพรรณนาแบบเก็บข้อมูลย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2560 – 2563. วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพและการสาธารณสุขชุมชน, 5(1): 56-66.
- สงกรานต์ พรหมโยธา และสุบิน บุญพจน์. 2532. การวิเคราะห์หาปริมาณบอแรกซ์ในเนื้อสัตว์แปรรูปบางชนิดโดยเทคนิคอุลตราไวโอเลต-วิสปีเบลสเปคโตรสโคปี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร บัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- Harris, D. C., and Lucy, C. A. 2020. *Quantitative Chemical Analysis*. 10th Edition. Macmillan Learning, NY.