



วารสารวิจัย

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2560)

ISSN : 2465-4507

Science and Technology Research Journal Nakhon Ratchasima Rajabhat University

Vol. 2 No. 2 (July - December 2017)

01
LEARN

02
EXPLORE

03
THINK

04
COMMUNICATE

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางการถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยี และการวิจัย
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระตุ้นการวิจัยและการพัฒนา การเรียนการสอนเพื่อ
เพิ่มจำนวนผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิทยาศาสตร์ และเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสาร
ระหว่างนักวิทยาศาสตร์

ขอบเขตบทความวิจัย

วารสารนี้รับผลงานทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับในรูปแบบบทความวิจัย
บทความวิจัยสื่อสารอย่างสั้น และบทความวิชาการปริทรรศน์ สามารถส่งได้ทั้ง
ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีขอบเขตบทความวิจัยที่สามารถลงตีพิมพ์ ได้แก่
วิทยาศาสตร์กายภาพและชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
และวิทยาศาสตร์เพื่อสังคมและชุมชน

กำหนดออก ปีละ 2 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน
- ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

สถานที่ติดต่อ

งานวารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักงานคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาคารปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้น 2
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 340 ถนนสุรนารายณ์
ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044-009-009 ต่อ 3295, 3200
โทรศัพท์/โทรสาร 044-272-939
E-mail : sci-vijai@gmail.com
Website : <http://www.sciencetech.nrru.ac.th>

ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิเชียร ฝอยพิกุล อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ. ดร.พิเศษ ตู่กลาง คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ดร.ดวงธิดา โคตรโยธา คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

บรรณาธิการ

ผศ. น.สพ.ประยุทธ กุศลรัตน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

รองบรรณาธิการ

ผศ. ดร.จิราวรรณ อุ่นเมตตาอารี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางสาวเอลิสา อุพานิช
นางสาวพิชานันท์ ศรีหมื่นไวย

กองบรรณาธิการ

ผศ.ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริวิทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.จิตรา สิงห์ทอง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ. ดร.บุษกร ทองใบ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ. ดร.พวงผกา แก้วกรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
รศ. ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร.สภาวร ชื่นชูจิตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผศ.ทิพย์วัลย์ แสนคำ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผศ. ดร.วิวิทย์ ลุ่งใหญ่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ. ดร. น.สพ.กนกนิถ คุปพิทยานันท์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ. ดร.ทรงกต ทศานนท์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.นิติ เอี่ยมชื่น มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.วิภาพ แพร่งวิทอง มหาวิทยาลัยพะเยา
ผศ. ดร.จิระเดช มาจันแดง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ. ดร.วันชัย บุญรอด จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ. ดร.อภิวัฒน์ นิมนนากร มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผศ. ดร.นิรันดร์ คงฤทธิ
ผศ. ดร.ธราพงษ์ เพ็ชรประยูร
ดร.มะลิวัลย์ สืบศาสนา
ดร.เมณฑล วิสุทธิ
ดร.วัชรพงษ์ วงศ์เขียว
ดร.ปรีดีวัฒน์ วรรณบุษปวิช
ดร.ชิน อ้าว
ดร.วรฤทธิ กอปรสิริพัฒน์
ดร.ดวงสุดา โชคเฉลิมวงศ์
ดร.สิริกักร กรมโพธิ์
อาจารย์รัชนิกร มูลปลา
อาจารย์อมรชัย ใจเชื้อกุล
อาจารย์สุระ วรรณแสง
นายยุทธนา ดอสกุล

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2560) ได้จัดทำขึ้นโดยหน่วยวิจัยและบริการวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งบทความในวารสารเป็นบทความที่ได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา มีวัตถุประสงค์การจัดทำเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เป็นสื่อกลางรายงานความก้าวหน้าทางวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวความคิดในการวิจัย การตีพิมพ์ ฉบับนี้ กองบรรณาธิการได้พิจารณาบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 5 บทความ

ในการนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอเชิญชวนนักวิจัย นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา เครือข่าย หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งบทความที่ดีมีประโยชน์เผยแพร่ต่อสาธารณชน ในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางวิชาการและการพัฒนาต่อยอดต่อไป หากท่านใดประสงค์ที่จะเป็นสมาชิกสามารถสมัครได้ตามระเบียบการตีพิมพ์แนบท้ายวารสารนี้และเว็บไซต์<https://sciencetech.nrru.ac.th/journal>

สารบัญ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท Development of Low Fat Pasteurized Milk Supplemented with Whey Protein Hydrolysate ชมภูณัฐ ฆ้องลา* สุมาลี มุลิกา กิ่งนาง ตะมะรวาย ชนิตา กุประดิษฐ์ อารยา รานอก และเสกสรร มังคลานันท์ วิศรุธ มัลจินท์ก ชิตณรงค์ ถาพินนา และนันท์วดี แสนคุ้มทอง ^๑	01
การบูรณาการคุณภาพและความมั่นคงปลอดภัยเข้ากับการพัฒนาซอฟต์แวร์ An Integration of Quality and Security with SDLC ทกชัชย อุตตรนที ¹	10
การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วย วิธีการสเปกโตรโฟโตเมตริก Determination of Nitrite and Nitrate in gunshot residues by Spectrophotometric method นิสา การเพียร ¹ พัชรिता ยุทธกล้า ¹ รัชนิกร ใจบุญ ¹ บรรณรัตน์ ศุภมิตรโยธิน ²	17
ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ Instant microwave riceberry cakes พัชรี เปรมกระโทก ¹ วรณฤดี ทองจุลกลาง ¹ อารีรัตน์ ริมใหม่ ^๒ ธนากร เปลื้องกลาง ¹	31
การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากธูปฤๅษีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง Comparing the formulation of Typha angustifolia compost on the growth and yield of Chinese cabbage ภิรมณ แสงมณี ¹ สุริยุ เสนาอินทร์ ¹ ชัยพร เจริญพร ^๒	40

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลส

Development of Low Fat Pasteurized Milk Supplemented with Whey Protein Hydrolysate

ชมนุช ช้อยลา* สุมาลี มุลิกา กิ่งนาง ตะมะรวย ชนิดา กุประดิษฐ์
อารยา รานอก และเสกสรร มังคลานันท์
วิศรุท มัลจันทร์กัฏ ฉัตรพนนา และนันท์ภูมิ แสนคุ้มทอง

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไลสต่อคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ส่วนประกอบทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนย โดยเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลสที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radical scavenging activity ผลการวิจัยพบว่า นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลสที่ความเข้มข้น 2.38% มีปริมาณเปปไทด์ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.61 ± 0.23 มิลลิกรัมสมมูลของลิควินต่อมิลลิลิตร และ 1.98 ± 0.07 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลสที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีปริมาณโปรตีนสูงสุด ในขณะที่นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลสที่ความเข้มข้น 0.63% มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด มีค่าเท่ากับ 7.80 ± 0.62 เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และการทดสอบประสาทสัมผัส ความเข้มข้นที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลสที่เติมในนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนย คือ 0.63% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เท่ากับ 1.34 ± 0.07 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลส (0.57 ± 0.03 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร) ผลการวิจัยนี้บ่งชี้ได้ว่าเวย์โปรตีนไฮโดรไลสมีศักยภาพในการเสริมฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการในนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนย

คำสำคัญ: เวย์โปรตีนไฮโดรไลส คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางเคมี นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนย

1 สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา 30000
Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, * Corresponding Author, E-mail: chompoonuch.2840@gmail.com

2 หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์นม (ต่อเนื่อง) คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

บทนำ

นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย (Low fat pasteurized milk) เป็นอาหารที่กำลังได้รับความนิยมในการบริโภคสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ และคนที่ต้องการควบคุมน้ำหนักหรือคนที่มิใช่ไขมันในเลือดสูง เนื่องจากเป็นอาหารที่มีพลังงานและไขมันต่ำ อย่างไรก็ตามนอกจากความต้องการบริโภคอาหารไขมันต่ำแล้ว ผู้บริโภคยังให้ความสนใจอาหารฟังก์ชัน (Functional food) ทำให้ในปัจจุบันตามท้องตลาดมีการออกผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ไขมันต่ำเสริม Functional Ingredients เช่น **Meiji High Protein** สูตรเสริมเวย์โปรตีน เป็นต้น เพื่อตอบโจทย์ผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

เวย์ (whey) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเนยแข็ง เวย์โปรตีนเป็นโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง และมีกรดอะมิโนชนิด branched-chain amino acid (BCAA) (ได้แก่ leucine, isoleucine และ valine) ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ลิวซีนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเผาผลาญโปรตีน (protein metabolism) เวย์โปรตีนทางการค้าสามารถแบ่งตามปริมาณโปรตีนได้ 3 ชนิด คือ เวย์โปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate โปรตีน 25-89%) เวย์โปรตีนไอโซเลท (whey protein isolate โปรตีน 90-95%) และเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท (whey protein hydrolysate) ซึ่งเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทนี้สายของโปรตีนขนาดยาวจะถูกย่อยให้เป็นสายเปปไทด์ขนาดสั้นๆ ทำให้สามารถดูดซึมได้ง่าย ลดโอกาสในการแพ้ (อวรรรณ ภูชัยวัฒนานนท์ และสุรัสวดี สมนึก, 2556; ธนกร ศิริสมุทร, 2558) นอกจากนี้ มีรายงานว่าเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระ (สุรพงษ์ พินิจกลาง และรัชนิ ไสยประจง, 2556; Peng et al., 2009) ดังนั้น หากนำเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมาใช้เป็นส่วนผสมในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย

นอกจากจะเป็นการเสริมคุณค่าทางโภชนาการในนม ยังช่วยเสริมฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

อนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ มากมาย เช่น มะเร็ง (Goodman et al., 2011) หัวใจ (Sugamura and Keane, 2011) และโรคอัลไซเมอร์ (Butterfield et al., 2002) เป็นต้น อนุมูลอิสระเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาในร่างกาย และมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกในร่างกาย เช่น การติดเชื้อ รังสี สารเคมี ยา คาร์บอนเสีย เขม่าจากเครื่องยนต์ คาร์บอนบุหรี่ อาหารยาง และอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นต้น ปกติร่างกายของคนเรามีสารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ เนื้อเยื่อ และอวัยวะจากการทำลายโดยอนุมูลอิสระ (Samaranayaka and Li-Chan, 2011) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อร่างกายได้รับอนุมูลอิสระมากเกินไปหรือระบบต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกายเสื่อมลง ทำให้อนุมูลอิสระเป็นปัญหาต่อสุขภาพได้

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อผลิตนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทสำหรับพัฒนาเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ และศึกษาฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การผลิตเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผง

ผลิตเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงตามวิธีของ วิศรุฑ และคณะ (2559) โดยเตรียมเวย์โปรตีนทางการค้า (whey protein concentrate) ความเข้มข้น 10% ย่อยด้วยเอนไซม์ Alcalase 2% ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส pH 8.0 เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นทำการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และนำเวย์โปรตีนไฮโดรไล

สเตไปทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Lyophilization) เก็บตัวอย่างเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ไว้สำหรับการทดลองต่อไป

2. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่เติมในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยนำเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงมาเติมในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย ความเข้มข้น 0.00-2.38% เลือกใช้ความเข้มข้น 2.38% เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่นี้ หลังการให้ความร้อนมีตะกอนเกิดขึ้น โดยอยู่นานที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เติมน้ำตาล 2.5% และเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.00, 0.63, 1.25, 1.88 และ 2.38%) ทำการพาสเจอร์ไรส์ต่อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 5 นาที กรองผ่านผ้าขาวบางขณะร้อน บรรจุในขวดแก้ว ทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์ คุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางเคมี และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

3. การวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์และคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระ

3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับ

วิเคราะห์

ปิเปตต์ตัวอย่างนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดเซนติฟิว นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm นาน 10 นาที เก็บส่วนใสไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์และฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระ ABTS

3.2 วิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์

วิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์ของนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% โดยวิธี Trinitrobenzene sulfonic Acid (TNBS) (Adler-Nissen,

1979) โดยปิเปตต์ตัวอย่างส่วนใส ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติมนิโตรเจนเพคตัทฟอว์ ความเข้มข้น 0.2125 โมลาร์ pH 8.2 ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติมนิโตรเจน TNBS ความเข้มข้น 0.005% ปริมาตร 500 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เติมนิโตรเจนกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 ไมโครลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา ทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ปริมาณเปปไทด์แสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของลิวซีนต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (mg Leucine Eq./ml Sample)

3.3 ความสามารถในการต้าน

อนุมูลอิสระ ABTS

วิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% ตามวิธีของ Wiriayaphan et.al. (2012) ปิเปตต์ตัวอย่างส่วนใสปริมาตร 20 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายอนุมูลอิสระ ABTS working solution (ABTS stock solution ผสมกับ 10 mM phosphate buffer, pH 7.4 และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ได้เท่ากับ 0.700 ± 0.02) ปริมาตร 1980 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระแสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (mg Trolox Eq./ml Sample)

4. การวิเคราะห์ทางด้านเคมี

นํานมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl, เถ้า และความชื้นตามวิธี AOAC (2000)

5. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale โดยทดสอบคุณลักษณะด้าน สี กลิ่นรส ความขม รสชาติ ความเป็นเนื้อเดียวกัน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

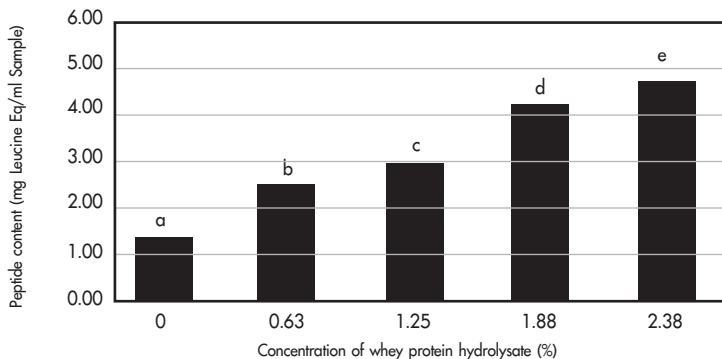
ผลการทดลองแสดงในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ PASW Statistics 18 Release 18.0.0 software

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ปริมาณเปปไทด์

เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่เติมลงในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนย โดยเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.00, 0.63, 1.25, 1.88 และ 2.38% พบว่า ปริมาณเปปไทด์เพิ่มขึ้นตามความ

เข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติม (รูปที่ 1, $p \leq 0.05$) นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยสูตรที่ไม่เติมเวย์ไฮโดรไลเสทมีปริมาณเปปไทด์เท่ากับ 1.39 ± 0.09 มิลลิกรัมสมมูลของลิวซีนต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (mg Leucine Eq./ml Sample) ส่วนนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์ไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีปริมาณเปปไทด์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.61 ± 0.23 mg Leucine Eq./ml Sample ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3.3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติม วิศรุ มัลจินติก และคณะ (2559) รายงานว่าปริมาณเปปไทด์ในผลิตภัณฑ์นมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีค่าเท่ากับ 3.42 ± 0.11 mg Leucine Eq./ml Sample จะเห็นได้ว่านมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีปริมาณเปปไทด์สูงกว่านมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท ทั้งนี้เนื่องจากนมสเตอริไลส์ผ่านการให้ความร้อนสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์ ส่งผลให้โปรตีน และเปปไทด์บางส่วนเสียสภาพธรรมชาติ จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสททำให้ปริมาณเปปไทด์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์



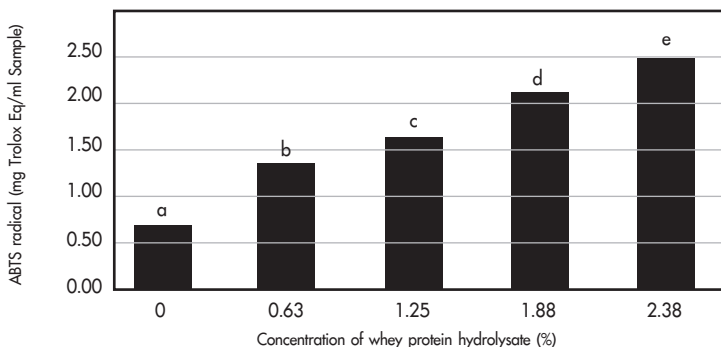
รูปที่ 1 ปริมาณเปปไทด์ในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.00-2.38%

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS

จากการศึกษาความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนย โดยเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ระดับความเข้มข้น 0.00-2.38% และวิเคราะห์คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของนมพาสเจอร์ไรส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติม (รูปที่ 2, $p \leq 0.05$) นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยสูตรที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เท่ากับ 0.57 ± 0.03 มิลลิกรัมสมมูลของ Trolox ต่อ มิลลิลิตรตัวอย่าง (mg Trolox Eq./ml Sample) ส่วนการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 2.38% มีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด มีค่า

เท่ากับ 1.98 ± 0.07 mg Trolox Eq./ml Sample ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติม ผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มีความสอดคล้องกับปริมาณเปปไทด์ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 1) วิศรุท มิตจันทิก และคณะ (2559) รายงานว่าความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ ABTS ในผลิตภัณฑ์นมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีค่าเท่ากับ 1.56 ± 0.06 mg Trolox Eq./ml Sample จะเห็นได้ว่านมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่านมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทนอกจากเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์แล้ว ยังเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย



รูปที่ 2 ความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ ABTS ของนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38%
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซต

จากผลการทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซต ที่ระดับความเข้มข้น 0.00- 2.38% พบว่า เมื่อความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น และไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า (ตารางที่ 1) การที่ความชื้นลดลงเนื่องมาจากปริมาณของแข็งในนมพาสเจอร์ไรส์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซต นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีค่าความชื้น โปรตีน และเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าความชื้นเท่ากับ 85.29 ± 0.30 และ $85.07\pm0.27\%$ มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 4.76 ± 0.13 และ $4.70\pm0.03\%$ และ

ปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.95 ± 0.03 และ $0.95\pm0.02\%$ ตามลำดับ การที่ปริมาณโปรตีนในนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีค่าไม่แตกต่างกัน และมีค่าสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์ที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตเล็กน้อยเนื่องจากเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตมีความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำและเสียสภาพธรรมชาติง่ายเมื่อโดนความร้อนทำให้โปรตีนบางส่วนตกตะกอนและถูกกรองออกไปในขั้นตอนการทำนมพาสเจอร์ไรส์ ดังนั้นงานวิจัยนี้บ่งชี้ได้ว่าปริมาณสูงสุดของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตที่เติมในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ไม่ควรเกิน 1.88% ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตพวงนอกจากจะเสริมคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยแล้วยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น WPH (%w/v)	ปริมาณ (%w.b.)		
	ความชื้น	เถ้า ^{ns}	โปรตีน
0.00	87.41±0.02c	0.86±0.01	3.77±0.36a
0.63	86.62±0.08b	0.87±0.01	3.97±0.19a
1.25	86.51±0.02b	0.89±0.02	4.20±0.09b
1.88	85.29±0.30a	0.95±0.03	4.76±0.13c
2.38	85.07±0.27a	0.95±0.02	4.70±0.03c

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภายในคอลัมน์เดียวกัน

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

WPH = Whey protein hydrolysate

4. ผลการการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% พบว่า ความเข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทไม่มีผลต่อความชอบของผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นรส และความขม (ตารางที่ 2, $p>0.05$) ส่วนด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่าผู้บริโภคจะชอบนมพาสเจอร์ไรส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ระดับความเข้มข้น 0.63% มากที่สุด ($p<0.05$) มีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.60 ± 1.05 และ 7.80 ± 0.62 ตามลำดับ ซึ่งมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบมาก ส่วนด้านสี พบว่าผู้บริโภคชอบที่ระดับความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไล

เสทที่ความเข้มข้น 0.63% มากกว่านมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท และที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% แต่ไม่มีความแตกต่างกับความเข้มข้นที่ 1.25% ด้านความเป็นเนื้อเดียวกันผู้บริโภคชอบนมพาสเจอร์ไรส์สูตรที่เติมเวย์ไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63-2.38% ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ชอบสูตรเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63 และ 1.25% มากกว่าสูตรที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท การที่ผู้ประเมินชอบนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยสูตรที่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63% รสชาติ ความเป็นเนื้อเดียวกัน และความชอบโดยรวมมากกว่าสูตรควบคุมอาจเนื่องมาจากการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีผลในการเพิ่มเนื้อสัมผัสในปาก (mouth feel) รวมทั้งรสชาติที่กลมกล่อมเวลาดื่ม

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น WPH (%)	สี	กลิ่นรส ^{ns}	รสชาติ	ความขม ^{ns}	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความชอบโดยรวม
0.00	6.90±1.25 ^a	6.15±1.95	6.00±1.62 ^a	5.75±2.36	7.05±1.39 ^a	6.95±1.57 ^a
0.63	7.70±0.86 ^b	6.65±1.46	7.60±1.05 ^b	6.35±2.28	7.75±0.91 ^b	7.80±0.62 ^b
1.25	7.35±0.81 ^{ab}	5.90±1.37	6.65±1.31 ^a	5.80±1.99	7.65±0.99 ^b	7.25±1.12 ^a
1.88	7.05±1.15 ^a	6.05±1.23	5.80±1.82 ^a	5.35±1.99	7.30±1.17 ^{ab}	6.90±0.97 ^a
2.38	6.85±1.35 ^a	5.85±1.31	5.85±1.66 ^a	5.30±2.32	7.40±1.05 ^{ab}	6.90±1.02 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภายในคอลัมน์เดียวกัน

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

WPH = Whey protein hydrolysate

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่านมพาสเจอร์ไรส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีปริมาณเปปไทด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.61 ± 0.23 mg Leucine Eq./ml Sample และ 1.98 ± 0.07 mg Trolox Eq./ml Sample ตามลำดับ นมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีปริมาณโปรตีนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.76 ± 0.13 และ $4.70 \pm 0.03\%$ ตามลำดับ ในขณะที่นมพาสเจอร์ไรส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63% เป็นสูตรที่ผู้ประเมินชอบมากที่สุด มีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.80 ± 0.62 เป็นคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบมาก ดังนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งปริมาณเปปไทด์ คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และความชอบด้านประสาทสัมผัส สรุปได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่เติมในนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนย คือ 0.63% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เท่ากับ 1.34 ± 0.07 mg Trolox Eq./ml Sample ซึ่งมีค่าสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท (0.57 ± 0.03 Trolox Eq./ml Sample)

กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่เอื้ออำนวยความสะดวกเครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ธนกร ศิริสมุท. (2558). คุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ทางการแพทย์ของเวย์โปรตีน. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ. 10(2): 75-80. [On-line]. Available: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/pharm/article/view/5349/5027>
- วิศรุต มิลจันติก ขิตณรงค์ ถาพินนา นันทวุฒิ แสนคุ้มทอง ชมภูนุช ช้องลา สุมาลี มุลิกา และกึ่งนาง ตะมะรววย. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มสเตอริไลส์พร้อมมันเนยเสริมเวย์โปรตีน ไฮโดรไลเสท. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. 1(2): 37-44.
- สุรพงษ์ พินิจกลาง และรัชณี ไสยประจง. (2556). การตรวจวัดปริมาณแอกติวิตีสารลดความดันโลหิตและสารต้านอนุมูลอิสระของไบโอแอคทีฟเพปไทด์จากเวย์โปรตีนไฮโดรไลต์ไฮโดรไลเซท. สาขาวิชาการจัดการธุรกิจอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 44: 393-396.
- อรรถวรรณ ภูชัยพัฒนานนท์ และสุรัสวดี สมนึก. (2556). มาทำความรู้จักกับเวย์โปรตีน. วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬา. 13(153): 1513-2867. [On-line]. Available: <http://www.esrg.kku.ac.th/wp-content/uploads/2018/03/4-มาทำความรู้จักกับเวย์โปรตีน.pdf>

- Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolyzates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 27: 1256-1262.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis 17th edition. Gaithersburg, Maryland: Association of Official Chemists.
- Butterfield, D. A., and Lauderback, C. M. (2002). Lipid peroxidation and protein oxidation in Alzheimer's disease brain: Potential causes and consequences involving amyloid β -peptide-associated free radical oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*. 32: 1050-1060.
- Goodman, M., Bostick, R. M., Kucuk, O. and Jones, D. P. (2011). Clinical trials of antioxidants as cancer prevention agents: past, present, and future. *Free Radical Biology and Medicine*. 51: 1068-1084.
- Peng, X. Y., Xiong, Y. L. L., and Kong, B. H. (2009). Antioxidant activity of peptide fractions from whey protein hydrolysates as measured by electron spin resonance. *Food Chemistry*. 113: 196-201.
- Samaranayaka, A. G. P. and Li-Chan, E. C. Y. (2011). Food-derived peptidic antioxidants: A review of their production, assessment, and potential applications. *Journal of Functional Foods*. 3: 229-254.
- Sugamura, K. and Keaney, J. F. Jr. (2011). Reactive oxygen species in cardiovascular disease. *Free Radical Biology and Medicine*. 51: 978-992.
- Wiriyaaphan, C., Chitsomboon, B., and Yongsawadigul, J. (2012). Antioxidant activity of protein hydrolysates derived from threadfin bream surimi byproducts. *Food Chemistry*. 132: 104-111.

การบูรณาการคุณภาพและความมั่นคงปลอดภัยเข้ากับ การพัฒนาซอฟต์แวร์ An Integration of Quality and Security with SDLC

ชกมลชัย อุดตรนที¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันภัยคุกคามต่อความมั่นคงปลอดภัยของระบบสารสนเทศที่มุ่งโจมตีระบบงานและข้อมูล โดยอาศัยช่องโหว่ของซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาและติดตั้งใช้งานในระบบสารสนเทศของหน่วยงานต่างๆ มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากความจำเป็นของระบบงานที่ต้องเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตมีเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการใช้งานของผู้ใช้ การพัฒนาซอฟต์แวร์ให้มีช่องโหว่หรือจุดอ่อนที่จะเป็นเป้าหมายโจมตีให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลยหากสามารถทำได้ จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น บทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดในการบูรณาการระเบียบวิธีทางด้านคุณภาพและความมั่นคงปลอดภัยเข้ากับกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์คุณภาพที่มีช่องโหว่ที่เป็นข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

คำสำคัญ : ภัยคุกคาม คุณภาพ การพัฒนาซอฟต์แวร์

บทนำ

แนวคิดในการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้มีคุณภาพด้วยซิกซ์ซิกม่า (Six Sigma Software Development) ได้มีผู้นำเสนอมาแล้ว (Tayntor, 2003) และมีผู้นำเสนอแนวคิดในการนำวิธีทางด้านความมั่นคงปลอดภัยมาใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Secured Software Development) ด้วยเช่นกัน

(Grembi, 2008) แต่ยังไม่พบว่ามีผู้นำเสนอการนำซิกซ์ซิกม่ามาใช้ร่วมกับระเบียบวิธีทางด้านความมั่นคงปลอดภัยในการพัฒนาซอฟต์แวร์ บทความนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดดังกล่าวโดยบูรณาการวิธีการทางคุณภาพและความมั่นคงปลอดภัย เข้ากับวัฏจักรของการพัฒนาซอฟต์แวร์

¹ * Email: utakol@yahoo.com

ศูนย์ข้อมูลสิ่งพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2560)

คุณภาพและความมั่นคงปลอดภัยของซอฟต์แวร์ (Quality and Security of Software)

ช่องโหว่ (Security holes or Vulnerabilities) หรือจุดอ่อนด้านความปลอดภัย (Security weakness) ที่ก่อให้เกิดผลกระทบอันไม่พึงประสงค์ต่อการใช้งานของซอฟต์แวร์ ถือเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ที่สำคัญประการหนึ่งของซอฟต์แวร์ เนื่องจากผู้ไม่หวังดีสามารถใช้ซอฟต์แวร์ที่มีช่องโหว่หรือจุดอ่อนดังกล่าวกระทำการในสิ่งที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดความต้องการ (Software requirements) ของซอฟต์แวร์นั้นที่ถูกออกแบบมา ทั้งในแง่ของการทำงาน (Operations) ที่ทำให้ไม่สามารถใช้งานซอฟต์แวร์เพื่อบรรลุผลตามเป้าหมายที่ต้องการ และในแง่ของการเงิน (Financial) เนื่องจากไม่สามารถใช้งานซอฟต์แวร์นั้นได้อย่างคุ้มค่า เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังอาจก่อให้เกิดความเสียหาย หรือค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมอันไม่พึงประสงค์ขึ้น

ข้อบกพร่องดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อซอฟต์แวร์ 2 ประการ คือ

1. ทำให้ซอฟต์แวร์ทำในสิ่งที่ไม่ได้รับการออกแบบมาให้ทำงาน ได้แก่

- บุกกรุก โจมตี ขัดขวาง การทำงานของระบบเครือข่าย ระบบงาน และบริการต่างๆ
- โจรกรรม เปลี่ยนแปลง ข้อมูลข่าวสาร สำคัญ
- เข้าถึง ใช้งาน ยึดครอง หนีบยืมทรัพยากรระบบโดยไม่มีสิทธิ

2. ทำให้ซอฟต์แวร์ไม่ทำในสิ่งที่ได้รับการออกแบบมา ได้แก่

- หยุดชะงัก หรือชะลอ การทำงานของระบบ หรือบริการต่างๆ

- แสดงผล รายงาน ผิดพลาด หรือดัดแปลงให้เกิดความเข้าใจผิด
- คำนวณ ประมวลผล ผิดพลาด หรือดัดแปลงผลลัพธ์
- ลดประสิทธิภาพในการทำงานลง หรือใช้งานทรัพยากรระบบเกินกว่าความต้องการ

ซึ่งผลกระทบดังกล่าวขัดต่อลักษณะสองประการของซอฟต์แวร์ที่มีคุณภาพควรจะมีตามความคาดหวังของผู้ใช้งาน คือ จะต้องทำแต่สิ่งที่ถูกต้อง และต้องทำได้ถูกต้องในสิ่งที่ทำ (จารึก ชูกิตติกุล, 2548)

ภัยคุกคามต่อความมั่นคงปลอดภัยของระบบสารสนเทศที่มุ่งโจมตีระบบงาน ข้อมูล ความมั่นคงของธุรกิจ หรือความมั่นคงของบุคคล โดยอาศัยช่องโหว่ของซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาและติดตั้งใช้งานในระบบสารสนเทศมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากในยุคของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน คือ ภัยคุกคามอันเนื่องจากการแพร่กระจายของไวรัส คอมพิวเตอร์ (Computer Virus) สปายแวร์ (Spyware) แอดแวร์ (Adware) และมัลแวร์ (Malware) ประเภทต่างๆ รองลงมาได้แก่ การโจมตีเครื่องแม่ข่ายให้บริการเว็บ (Web Server) บนอินเทอร์เน็ต การเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลบนเว็บไซต์ รวมถึงการหลอกลวงทางอินเทอร์เน็ต (Phishing) เพื่อขอข้อมูลที่สำคัญเช่น รหัสผ่าน หรือหมายเลขบัตรเครดิตจากลูกค้า และการโจมตีระบบฐานข้อมูลของหน่วยงานโดยการเจาะระบบ (Hacking) ผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

การจัดการกับภัยต่างๆ ดังกล่าวมักกระทำในภายหลังจากที่เกิดเหตุการณ์ขึ้นแล้ว หรือเมื่อมีการตรวจพบช่องโหว่ในภายหลังจากที่ได้มีการพัฒนา หรือผลิตซอฟต์แวร์ขึ้นมาใช้งานแล้วเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ทำให้เกิดความเสียหายต่อความเสียหาย

ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งานซอฟต์แวร์ดังกล่าว ดังนั้น วิธีที่ดีที่สุดในการจัดการปัญหาดังกล่าว คือ การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีช่องโหว่ หรือจุดอ่อนด้านความปลอดภัยให้น้อยที่สุด หรือไม่มีเลยถ้าเป็นไปได้ หมายถึงการออกแบบให้ซอฟต์แวร์มีความมั่นคงปลอดภัยตั้งแต่เริ่มพัฒนา ซึ่งหากพิจารณาถึงข้อเท็จจริงที่ว่าช่องโหว่ หรือจุดอ่อนดังกล่าวเป็นข้อบกพร่อง (Defects) หรือข้อผิดพลาด (Faults) หนึ่งภายในกระบวนการพัฒนาหรือผลิตซอฟต์แวร์ เราสามารถนำวิธีการลดข้อผิดพลาดตามระเบียบวิธีการทางคุณภาพ (Quality Methodology) มาใช้ควบคู่กับระเบียบวิธีการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Methodology) เพื่อช่วยลดช่องโหว่ หรือจุดอ่อนด้านความปลอดภัยของซอฟต์แวร์ลงได้เช่นเดียวกับการลดข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม

(Industrial Process) ได้ ซึ่งเป็นแนวคิดที่แย้งกับข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในวงการความมั่นคงปลอดภัยของซอฟต์แวร์ที่ได้เคยแสดงความเห็นว่าคุณภาพของซอฟต์แวร์ (Grembi, 2008) ทำให้ไม่เคยมีการนำเสนอแนวคิดในการนำระเบียบวิธีทางคุณภาพมาใช้ควบคู่กับระเบียบวิธีทางความมั่นคงปลอดภัยของซอฟต์แวร์เลย

ในที่นี้ได้นำเสนอแนวคิดในการบูรณาการวิธีการทางซิกซ์ซิกมา (Six Sigma) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการทางคุณภาพแบบหนึ่ง คือ โมเดลตีมาอิก (DMAIC) (Tayntor, 2003) และระเบียบวิธีเพื่อความมั่นคงปลอดภัย เข้ากับ วัฏจักรของการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle: SDLC) ที่ได้ปรับปรุงมาจากหนังสือการวิเคราะห์และออกแบบระบบ (ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์, 2551) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การบูรณาการวิธีการทางซิกซ์ซิกมา) และระเบียบวิธีเพื่อความมั่นคงปลอดภัย เข้ากับการพัฒนาซอฟต์แวร์

ขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์	กิจกรรมทาง SDLC	กิจกรรมทาง Six Sigma (DMAIC for Security)
1. การวิเคราะห์ปัญหา (Analysis)	- Problem Identification and selection - Goal and metrics setting - User Requirements Gathering - Requirements Verifications & Validation	Define - Security Requirements using tools i.e. - o Standard Review - o Best Practices - o Abuse Cases
2. การออกแบบระบบ (Design)	- Functional Design - Non-Functional Design - User Interface Design - Technical Design	Define - Security Risk using tools i.e. - o Threat Modeling - o Risk Matrix - o Security Design Review

ขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์	กิจกรรมทาง SDLC	กิจกรรมทาง Six Sigma (DMAIC for Security)
3. การพัฒนาระบบ (Development)	- Coding	Measure - Weakness using tools i.e. Code Review
4. การทดสอบระบบ (Testing)	- Unit Test - Integration Test - Acceptance Test	Measure - Security Matrices using tools i.e. Penetration Test
5. การวิเคราะห์ปัญหา (Analysis)	- Problem Identification and selection - Goal and metrics setting - User Requirements Gathering - Requirements Verifications and Validation	Define - Security Requirements using tools i.e. o Security Standard Review o Security Best Practices o Abuse Cases
6. การออกแบบระบบ (Design)	- Functional Design - Non-Functional Design - User Interface Design - Technical Design	Define - Security Risk using tools i.e. o Threat Modeling o Risk Matrix o Security Design Review
7. การพัฒนาระบบ (Development)	- Coding	Measure - Weakness using tools i.e. Code Review
8. การทดสอบระบบ (Testing)	- Unit Test - Integration Test - Acceptance Test	Measure - Security Matrices using tools i.e. Penetration Test
9. การติดตั้งระบบ (Deployment)	- Installation - Evaluation - Documentation - Training	Analyze - Operations Review - Incident Report - Incident Prioritize - Incident Response Team and Guideline
10.การบำรุงรักษาระบบ (Maintenance)	- Training - Application Support - Adaptive and Change - Enhancements	Improve - Patches and Fix Control - Threat Monitoring - User Awareness - Security Training

จะพบว่าเมื่อมีการบูรณาการวิธีการทางซิกซ์ซิกมาเพื่อความมั่นคงปลอดภัยเข้ากับวัฏจักรของการพัฒนาซอฟต์แวร์แล้วในแต่ละขั้นตอนจะมีกิจกรรมทางความมั่นคงปลอดภัยที่ต้องทำเพิ่มขึ้นดังนี้

ขั้นตอนการจัดทำข้อกำหนด (Define Phase)

เป็นการจัดทำความต้องการทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสำหรับระบบที่จะทำการพัฒนา โดยทำการศึกษา Best Practices และมาตรฐานทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศต่างๆที่มีอยู่และนำมาใช้ให้เหมาะสมกับระบบที่จะทำการพัฒนา และเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมตลอดจนโครงสร้างสถาปัตยกรรมทางสารสนเทศ (IT Architecture and Infrastructures) ขององค์กรที่มีอยู่ เช่น แนวทางปฏิบัติทางด้าน IT Infrastructure Library (ITIL) มาตรฐาน ISO 17799 มาตรฐาน ISO 27001 มาตรฐาน COBIT เป็นต้น โดยกำหนดให้เป็นส่วนหนึ่งของความต้องการระบบ (Requirements) ในกรณีที่เป็นการพัฒนากระบวนการด้วยวิธีการเชิงวัตถุ (Object Oriented Methodology) ซึ่งจะมีการจัดทำ Use Cases ในขั้นตอนของการจัดทำความต้องการระบบ จำเป็นที่จะต้องออกแบบและจัดทำ Abuse Cases คือ ปฏิสัมพันธ์ที่ส่งผลให้เกิดความบกพร่องหรือผลที่ไม่พึงประสงค์ต่อระบบ ต่อผู้ใช้งานระบบ หรือต่อเจ้าของระบบ ควบคุมไปด้วย

หลังจากกระบวนการถูกออกแบบแล้วจะต้องทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศของระบบดังกล่าวด้วยเครื่องมือต่างๆ เพื่อหาช่องโหว่หรือจุดอ่อนในการออกแบบนั้น เครื่องมือที่เป็นที่นิยม เช่น COSO/COBIT Security Administration Control Objective Risk Matrix ซึ่งจะมีการกำหนดคะแนนของช่องโหว่ที่อาจเกิด และระดับความรุนแรงของผลกระทบ

หรือ Threat Modeling ที่จะช่วยตรวจประเมินและรายงานความเสี่ยงทางด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบที่ออกแบบ หรือ Design Review ซึ่งเป็นการทบทวนแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นตอนของการวัดผล (Measure Phase)

เป็นการตรวจวัดเพื่อหาช่องโหว่ หรือจุดอ่อนในระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาตามแบบที่ทำตามข้อกำหนดความต้องการทางด้านความมั่นคงสารสนเทศแล้ว สามารถทำได้ทั้งในระหว่างการพัฒนา และภายหลังจากที่พัฒนาเสร็จแล้ว โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ได้แก่ การทบทวนชุดคำสั่งที่เขียน (Code Review) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบอัตโนมัติ คือการใช้เครื่องมือเพื่อทำการทดสอบชุดคำสั่ง เช่น FxCop ของไมโครซอฟต์ และแบบไม่อัตโนมัติ คือการใช้ผู้เชี่ยวชาญทบทวน

1. การทบทวนชุดคำสั่งที่เขียน จะช่วยให้สามารถค้นพบช่องโหว่ หรือจุดอ่อนประเภทที่มีรูปแบบที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วไป (Common Vulnerability Patterns) เช่น Integer Arithmetic issues, Buffer Overruns, Cryptographic issues, SQL Injection, and Cross-site Scripting (XSS) เป็นต้น
2. การทดสอบการบุกรุก (Penetration Test)

ทำได้โดยการจำลองการโจมตีของผู้ประสงค์ร้ายต่อระบบ (Malicious User) หรือผู้เจาะระบบ (Hacker) วิธีการเริ่มที่การวิเคราะห์เพื่อหาโอกาสที่จะเกิดช่องโหว่หรือจุดอ่อนในระบบอย่างละเอียด ไม่เฉพาะแต่ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเท่านั้น แต่รวมถึงระบบปฏิบัติการ (Operating System) โครงสร้างทางสถาปัตยกรรม (IT Architecture and Infrastructures) ที่ระบบจะถูกนำไปติดตั้งใช้งาน เช่น ฮาร์ดแวร์ ระบบเครือข่าย (Network) และระบบงานสนับสนุนต่างๆ เช่น ระบบฐานข้อมูล (Database) ระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) เครื่องแม่ข่ายให้

บริการเว็บ (Web Server) อีกด้วย โดยปกติมักจะ
ให้หน่วยงานภายนอกเป็นผู้ทำการทดสอบการบุกรุก

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

เมื่อมีการติดตั้งใช้งานระบบในกระบวนการทำงานจริง จะทำให้สามารถเห็นถึงปัญหาที่อาจ
จะไม่พบในขั้นตอนของการตรวจวัดผล เนื่องจาก
ข้อมูลที่เกิดขึ้น และพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้
ที่แตกต่างกันระหว่างการใช้งานระบบจริงกับการ
ทดสอบระบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ
และแนวทางในการป้องกันแก้ไข เครื่องมือที่จำเป็น
ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ การทบทวนการปฏิบัติงาน
(Operation Reviews) รายงานเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
โหว่ หรือจุดอ่อน (Incidents Report) และการ
จัดเรียงลำดับความสำคัญของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
(Incident Prioritize) นอกจากนั้นจะต้องมีการเตรียม
การจัดการรับมือกับปัญหาเหตุการณ์ความมั่นคง
ปลอดภัยทางสารสนเทศที่เกิดขึ้นในการใช้งานระบบ
อย่างทันทั่วทั้งที่ เพื่อลดความรุนแรงของผลกระทบ
ที่จะเกิดขึ้นทั้งต่อระบบ ต่อผู้ใช้งาน หรือต่อองค์กร
โดยเครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ ทีมงานโต้ตอบเหตุการณ์
(Incident Response Team) และแนวทางการ
ปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุ (Incident Response Guide-
line)

ขั้นตอนของการปรับปรุง (Improve Phase)

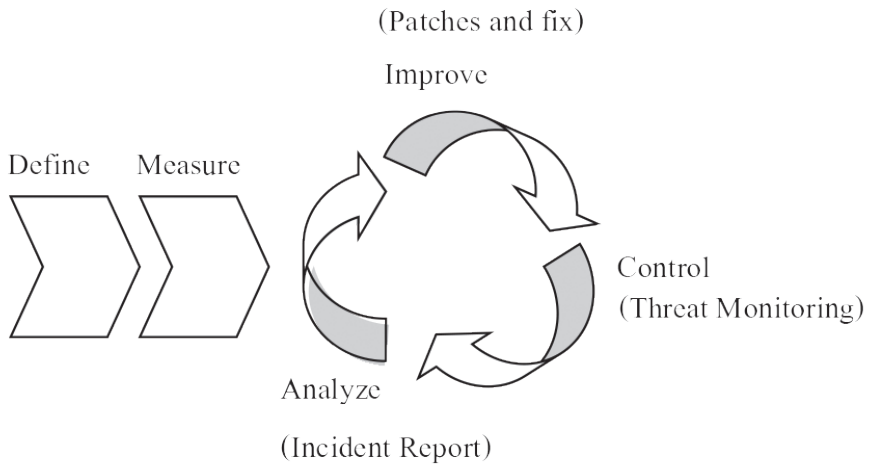
เมื่อวิเคราะห์พบสาเหตุ และแนวทางใน
การแก้ไข ขั้นตอนต่อไปได้แก่การพัฒนาแก้ไขระบบ
(Patches and Fix) เพื่ออุดช่องโหว่ หรือกำจัดจุด
อ่อนที่พบ ความสำคัญของขั้นตอนนี้อยู่ที่ระยะเวลา
ที่ใช้ในการพัฒนาเพื่อแก้ไขและปรับปรุงซอฟต์แวร์
ควรจะน้อยที่สุดเพื่อลดความเสี่ยงต่อการถูกคุกคาม

ขั้นตอนของการควบคุม (Control Phase)

เป็นการควบคุมเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดช่อง
โหว่ หรือจุดอ่อนในระบบขึ้นมาได้อีก เครื่องมือที่ใช้
ได้แก่ การเฝ้าระวังภัยคุกคาม (Threat Monitoring)
การสร้างคามตระหนักรู้แก่ผู้ใช้งาน (User Aware-
ness) และการอบรมทางด้านความมั่นคงปลอดภัย
(Security Training) ของทีมงานโต้ตอบเหตุการณ์
และนักพัฒนา รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ
พัฒนาซอฟต์แวร์ทั้งหมด

โมเดลตีมาอีกเพื่อความมั่นคงปลอดภัย (DEMAIC Model for Security)

เนื่องจากปัจจุบันมีภัยคุกคามใหม่ๆต่อความ
มั่นคงปลอดภัยทางสารสนเทศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา
ตัวอย่างเช่น ไวรัสโทรจัน (Trojans Virus) ชนิด
ใหม่ๆ รวมถึงนักเจาะระบบ (Hacker) รุ่นใหม่ที่เกิด
ขึ้นเนื่องจากความง่ายในการเข้าถึงข้อมูลการเจาะ
ระบบที่มีการเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ตและเป็นที่รับรู้
ในวงกว้างนักเจาะระบบ ดังนั้นสามขั้นตอนในโมเดล
ตีมาอีก ได้แก่ การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการ
ควบคุม จึงต้องทำอย่างต่อเนื่องอยู่เสมออยู่เสมอเท่าที่
ยังมีการใช้งานระบบงาน และซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น
มานั้นอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดง DMAIC Model for Security ที่บทความนำเสนอ

วิธีการทางคุณภาพมาใช้เพื่อสร้างความมั่นคงปลอดภัยให้แก่กระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้และหวังว่าจะมีผู้ที่มีแนวคิดเดียวกันนำเสนอผลงานให้แพร่หลายต่อไป

สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการบูรณาการระเบียบวิธีการด้านความมั่นคงปลอดภัย และวิธีการด้านคุณภาพโดยใช้ขั้นตอนดีมาอิก (DMAIC) ของซิกซ์ซิกมาเข้ากับ วัฏจักรการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องและจุดอ่อนภายในซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณาว่าข้อบกพร่องหรือจุดอ่อนต่างๆ ที่มีเป็นความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อน (Errors) จากมาตรฐานในกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ที่สามารถถูกแก้ไขได้ด้วยการควบคุมคุณภาพการพัฒนาซอฟต์แวร์ ในลักษณะเดียวกันกับการควบคุมคุณภาพการผลิต เพื่อลดข้อบกพร่อง (Defects) ในกระบวนการผลิต

เอกสารอ้างอิง

- จาริก ชุกติติกุล. (2547). เทคโนโลยีสารสนเทศ
คุณภาพ : ปรัชญา สาระ และวิทยานิพนธ์.
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีขั้นสูง. ฉบับที่
8 เดือนตุลาคม 2548. หน้า 4.
- ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์. (2551).
การวิเคราะห์และออกแบบระบบ. กรุงเทพฯ
: ซีเอ็ดดูเคชั่น. หน้า 52.
- Jason Grembi (2008). Secure Software
Development: A Security
Programmer's Guide. Canada: Course
Technology. pp. 60.
- Tayntor, Christine B. (2003). Six Sigma
Software Developments. Boca Raton:
Auerbach Publications. pp. 26.+

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจาก การยิงปืนด้วย วิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี DETERMINATION OF NITRITE AND NITRATE IN GUNSHOT RESIDUES BY SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

พัชรี เปรมกระโทก¹ วรณฤดี ทองจุลกลาง¹
อารีรัตน์ रिมนใหม่² ธนากร เปลือกกลาง¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) พร้อมกัน ในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วยวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี เพราะเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ ไนไตรท์และไนเตรทได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ อีกทั้งยังมีความถูกต้อง แม่นยำ และความไวสูง โดยทำการศึกษาปฏิกิริยาของไนไตรท์กับสารละลาย Griess และประสิทธิภาพการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ด้วยสังกะสี พบว่าปฏิกิริยาการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์สมบูรณ์ที่สุดเกิดขึ้นโดยทันที (0 วินาที) เมื่อเติม กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และสังกะสีปริมาณ 0.13 กรัม ตามลำดับ และมีค่าขีด จำกัดการตรวจวัดไนไตรท์เท่ากับ 0.41 ไมโครโมลาร์ นอกจากนี้การวิเคราะห์ร้อยละคืนกลับของไนไตรท์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.34 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอมีความถูกต้อง ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และ ไนเตรทในตัวอย่างที่บริเวณเป้าหมาย ณ ระยะยิง 2 นิ้ว และระยะเวลาภายหลังการยิง 6 ชั่วโมง ปรากฏว่า พบปริมาณไนเตรทในตัวอย่างมากกว่าปริมาณไนไตรท์

คำสำคัญ: เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน สเปกโตรโฟโตเมตรี ไนไตรท์ และไนเตรท

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำวิธีการทางด้านเคมี วิเคราะห์เข้ามาช่วยเพื่อพิสูจน์หาว่า บุคคลใด เป็นผู้บริสุทธิ์ บุคคลใดเป็นผู้กระทำความผิดหรือ เป็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระทำความผิด โดยใช้ ผลการวิเคราะห์ประกอบเป็นพยานหลักฐาน

ทางนิติวิทยาศาสตร์ซึ่งถือว่าเป็นที่ยอมรับใน กระบวนการยุติธรรม โดยเฉพาะกรณีการก่อ อาชญากรรมในคดีที่มีอาวุธปืนมาเกี่ยวข้องจะพบ เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน 2 ส่วน ได้แก่ เขม่าแก็ปปืน และเขม่าดินปืนฟุ้งกระจายอยู่โดยรอบสถานที่เกิด

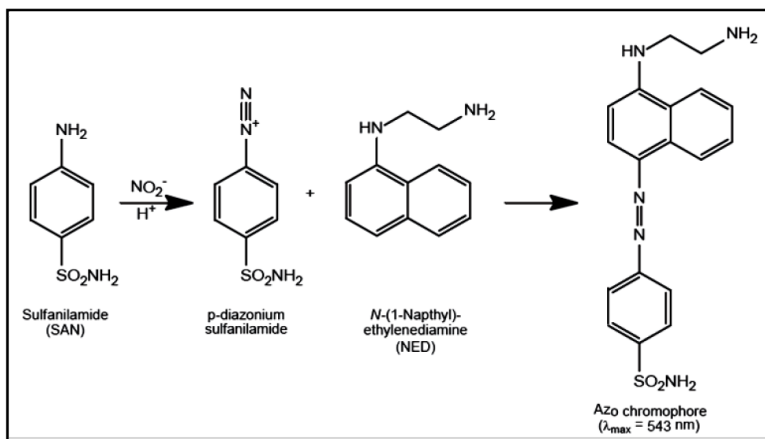
¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

²ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 3 สำนักงานตำรวจแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา 30000

เหตุ เหม่าแก๊ปป็นและเหม่าดินป็นเป็นผลที่เกิดขึ้นมาจากการทำงานของอาวุธปืนทุกชนิด ซึ่งใช้เครื่องส่งกระสุนโดยวิธีการจุดระเบิดแล้วเกิดกำลังแรงดันของแก๊สภายในกระบอกการทำงานของอาวุธปืน [1] การตรวจพิสูจน์ยืนยันการพบเหม่าที่เกิดขึ้นจากกระสุนปืนถือว่าเป็นหลักฐานชิ้นสำคัญที่นำไปสู่การสืบสวนหาตัวอาชญากร เหม่าแก๊ปป็นเกิดจากการเผาไหม้และไม่เผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (แก๊ปป็น) ส่วนใหญ่จะตรวจพบบริเวณมือของผู้ยิง ส่วนเหม่าดินป็นเกิดจากการเผาไหม้และไม่เผาไหม้ของดินปืน ส่วนใหญ่พบที่บริเวณเป้าหมายที่ถูกยิงรวมถึงบริเวณอื่นๆ เช่น เสื้อผ้า ยานพาหนะ และอื่นๆ ที่อยู่โดยรอบบริเวณที่มีการยิงปืน เป็นต้น [2] ซึ่งเหม่าแก๊ปป็นนั้นสามารถตรวจสอบหาธาตุองค์ประกอบหลักได้แก่ ธาตุแอนติโมนี (Sb) ธาตุแบเรียม (Ba) และธาตุตะกั่ว (Pb) ส่วนเหม่าดินป็นสามารถตรวจสอบหาไอออนของไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เนื่องจากไอออนทั้งสองตัวนี้เป็นส่วนประกอบหลัก

ที่พบอยู่ในดินปืน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถตรวจพบไนไตรท์และไนเตรทได้เมื่อเกิดการยิงปืนขึ้น [3]

กรณีวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์นั้น มีรายงานผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หลายวิธี เช่น วิธี Colorimetric method ทำได้โดยการให้สารประกอบไนไตรท์ทำปฏิกิริยากับ Griess reagent [4-8] ซึ่งประกอบด้วยสารละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide) และสารละลาย N-(1-Naphthyl) ethylene diamine (NED) จะเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีสีชมพูซึ่งมีความเข้มสีเป็นสัดส่วนกับปริมาณของสารประกอบไนไตรท์ที่มีอยู่เริ่มต้น กรณีที่ต้องการวิเคราะห์สารประกอบไนเตรทด้วย จะต้องทำการเติมตัวรีดิวซ์เพื่อทำการรีดิวซ์สารประกอบไนเตรทให้เป็นสารประกอบไนไตรท์ก่อน จึงจะเริ่มทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสีต่อไป จากนั้นนักวิจัยสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตริกต่อไป Griess reaction แสดงดังรูปที่ 1 ต่อไปนี้



รูปที่ 1 แสดง Griess reaction เพื่อทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีสีสำหรับวิเคราะห์สารประกอบไนไตรท์ [4]

การให้เกิดปฏิกิริยาดำเนินการทำให้เกิดสีด้วย Griess reagent ตามที่แสดงในรูปที่ 1 นี้ มีรายงานการประยุกต์ทั้งกับเทคนิค Spectrophotometry เทคนิคที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง (Sequential injection analysis, SIA และ Flow injection analysis, FIA) (Chen et al. 2008; Feng et al. 2013 and fasquali et al. 290) และเทคนิคที่ใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษ (Paper based analytical devices, PADs) (Bhakta, Borba and taba, 2014) อย่างไรก็ตามยังมีรายงานการประยุกต์สารฟอร์มส์ตัวอื่น ๆ สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบไนโตรที่ได้เช่นเดียวกัน [9] เทคนิคการแยกและวิเคราะห์ (Separation techniques) ก็มีรายงานการประยุกต์เพื่อใช้วิเคราะห์สารประกอบไนโตรที่และไนเตรทในเขม่าดินปืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น วิธีการแคปิลลารี อิเล็กโทรโฟเรซิส (Capillary electrophoresis, CE) [10-11] วิธีโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (High performance liquid chromatography, HPLC) [12] และวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas chromatography, GC) [13] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตริกสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนโตรที่และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน เพราะเป็นเทคนิค ที่ประยุกต์ได้ง่ายด้วยอุปกรณ์เครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการทั่วไป ที่สำคัญเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นับเป็นเครื่องมือที่มีราคาไม่สูงมากนัก ทั้งยังต้องการทักษะของนักวิเคราะห์ไม่สูงมากจนเกินไปด้วย โดยมีผู้วิเคราะห์หาปริมาณทั้งไนโตรที่และไนเตรทพร้อมกันในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่เก็บโดยรอบเป้าหมายที่ยิง และกำหนดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 6 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน หลักการวิเคราะห์ไนโตรที่ทำได้โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess (รูปที่ 1) เกิดสารผลิตภัณฑ์ชมพูซึ่งดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ที่ 540 นาโนเมตร ขณะที่การวิเคราะห์ไนเตรทต้อง

ทำการรีดิวซ์เป็นไนไตรท์ก่อน จึงให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess เช่นเดียวกัน งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์สังกะสีเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) แทนที่ใช้แคดเมียม (Cd column) ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากและมีต้นทุนสูง [14] สภาวะต่างๆที่เกี่ยวข้องจะถูกศึกษาเพื่อเลือกสภาวะการวิเคราะห์ที่เหมาะสม อันจะนำมาซึ่งวิธีการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ จำเพาะเจาะจง มีความสะดวก ประหยัด และยืดหยุ่นสูง และสามารถประยุกต์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ระบุตัวบุคคลที่ยิงปืนได้

1. วิธีดำเนินการวิจัย

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filter paper No.1) ยี่ห้อ Whatman, Sigma – Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.1.2 ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ CZ รุ่น 75D Compact สาธารณรัฐเช็ก

1.1.3 กระสุนปืนชนิดหัวรู ยี่ห้อ THAIARMS ประเทศไทย

1.1.4 ก้านสำลี ยี่ห้อรพพยาบาล ประเทศไทย

1.1.5 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Analysis balance) รุ่น PG2002 – S, METTLER TOLEDO ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์

1.1.6 เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer) รุ่น CERAMAG Midi บริษัท IKA WORKS ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.1.7 เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaning bath) รุ่น Transsonic Digitalis ยี่ห้อ Elma ประเทศเยอรมัน

1.1.8 เครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV – Visible Spectro photometer) รุ่น GENESYS 20uv ยี่ห้อ Thermo ประเทศ

สหรัฐอเมริกา

1.2 สารเคมี งานวิจัยนี้ใช้สารเคมีทุกชนิดเป็น Analytical reagent (AR) grade ดังนี้

1.2.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) บริษัท RCL Labscan ประเทศไทย

1.2.2 เอ็น-(1-แนฟทิล)เอทิลีนไดอะมีนไดไฮโดรคลอไรด์ (N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride, NED) บริษัท Sigma - Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2.3 โซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite, NaNO_2) บริษัท RCL Labscan ประเทศไทย

1.2.4 ซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide, $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

1.2.5 โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium nitrate, KNO_3) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย

1.2.6 สังกะสี (Zinc powder, Zn) บริษัท Univar ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2.7 น้ำปราศจากไอออนที่มีค่าความต้านทานไม่ต่ำกว่า 108 Ω (Deionized water, DI)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การศึกษากราฟมาตรฐานของไนไตรท์ด้วยสารละลาย Griess ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไตรท์เข้มข้น 2,174 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 0.00, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรจำนวน 6 ขวด แยกกัน ตามลำดับเติม 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร และ 1% w/v N-(1-naphthyl) ethylene diamine dihydrochloride (NED) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ในแต่ละขวด ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืน

แสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี – วิสเปิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง)

2.3.2 การศึกษาความสามารถในการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นไนไตรท์ด้วย Zn

2.3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Zn ที่มีต่อความสามารถ ในการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นไนไตรท์ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรตเข้มข้น 806 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตรจำนวน 7 ใบ แยกกัน เติมกรด HCl เข้มข้น (Conc. HCl) ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร และ Zn ปริมาตร 0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ในแต่ละบีกเกอร์ ตามลำดับ คนด้วย Magnetic stirrer เป็นเวลา 20 วินาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นปิเปตสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl และ 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v NED เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Zn (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง) เลือกปริมาณ Zn ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นไนไตรท์เพื่อใช้สำหรับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตต่อไป

2.3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ HCl ที่มีต่อความสามารถในการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นไนไตรท์ ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรตเข้มข้น 806 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตรจำนวน 7 ใบ แยกกัน เติมกรด HCl เข้มข้น ปริมาตร 0.00, 0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 มิลลิลิตร ในแต่ละบีกเกอร์ ตามลำดับ และเติม Zn

ปริมาณ 0.13 กรัม ในแต่ละบีกเกอร์ (ผลการศึกษาจาก หัวข้อ 2.3.2.1) คนด้วย Magnetic stirrer เป็นเวลา 20 วินาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นปิเปตสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl และ 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v NED เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณ HCl (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง) เลือก ปริมาณ HCl ที่เหมาะสมในการวัดสีในเตรทเป็น ไนโตรที่เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทต่อไป

2.3.2.3 การศึกษาอิทธิพลของเวลา ที่มีต่อความสามารถของ Zn ในการวัดสีในเตรท เป็นไนโตรที่ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรท เข้มข้น 806 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรจำนวน 7 ใบ แยกกัน เติมกรด HCl เข้มข้น ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และ Zn ปริมาณ 0.13 กรัม ในแต่ละบีกเกอร์ (ผลการ ศึกษาที่ได้จากหัวข้อ 2.3.2.1 – 2.3.2.2) คนด้วย Magnetic stirrer เป็นเวลา 0, 10, 20, 30, 60, 120 และ 300 วินาที ตามลำดับ กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 จากนั้นปิเปตสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl และ 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v NED เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และเขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างเวลา (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง) เลือกเวลา ที่เหมาะสมในการวัดสีในเตรทเป็นไนโตรที่ เพื่อใช้ สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทต่อไป

2.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรที่และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

2.3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน ของไนโตรที่ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมระหว่าง ไนโตรที่และไนเตรทความเข้มข้นรวม 0, 109, 218, 327, 436 และ 546 ไมโครโมลาร์ ($\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^- = 0/0, 0.43/108.6, 0.65/217.3, 0.87/326.2, 1.09/434.9$ และ $2.17/543.8$ ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองจำนวน 6 หลอด แยกกันตามลำดับ เติม 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl และ 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v NED เขย่าให้เข้ากัน (สารละลายถูกเจือจาง 2 เท่า) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนโตรที่ (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง)

2.3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน ของไนโตรที่ผสมไนเตรทปิเปตสารละลายมาตรฐาน ผสมระหว่างไนโตรที่และไนเตรทความเข้มข้นรวม 0, 109, 218, 327, 436 และ 546 ไมโครโมลาร์ ($\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^- = 0/0, 0.43/108.6, 0.65/217.3, 0.87/326.2, 1.09/434.9$ และ $2.17/543.8$ ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ) ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรจำนวน 6 ใบ แยกกัน ตามลำดับ เติมกรด HCl เข้มข้น ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และ Zn ปริมาณ 0.13 กรัม ในแต่ละบีกเกอร์ คนสารละลายเล็กน้อย กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นปิเปตสารละลายที่กรองได้ ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl และ 1.00 มิลลิลิตร ของ 1% w/v NED เขย่าให้เข้ากัน (สารละลายถูกเจือจาง 2 เท่า) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสมไนโตรที่

ของไนโตรท์ (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง)

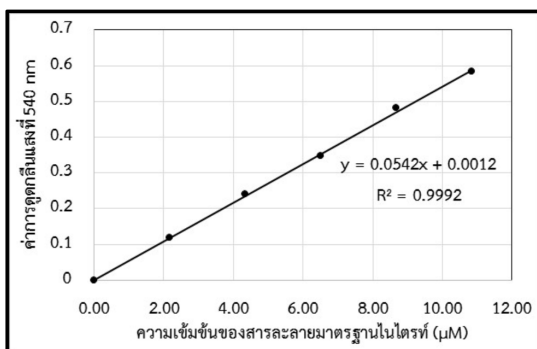
2.3.3.3 การเตรียมตัวอย่างนำก้านสำลี (cotton brush) ใช้เก็บกวาด (Swab) ตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนบริเวณโดยรอบเป้าหมายผ้าขาว (white cotton target) ที่ถูกยิงด้วยระยะยิง 2 นิ้ว โดยใช้ก้านสำลีเก็บกวาดจำนวน 2 ก้าน (2 replicates) ภายหลังการยิงปืนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการสกัดโดยตัดปลายก้านสำลีทั้งสองใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 4.00 มิลลิลิตร ปิดปากหลอดทดลองด้วยพาราฟิล์ม ก่อนนำไปสกัดใน Ultrasonic bath water เป็นเวลา 5 นาที กรองผ่านสำลี ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรท์และไนเตรตต่อไป

2.3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณและร้อยละคืนกลับของไนโตรท์ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง จำนวน 2 หลอด แยกกัน เติมสารละลายมาตรฐานไนโตรท์ที่เข้มข้น 3.26 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ในหลอดที่ 2 จากนั้นเติม 1.00 มิลลิลิตร 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl และ 1.00 มิลลิลิตร 1% w/v NED ลงในหลอดทดลองทั้ง 2 หลอด เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยทำการทดลองสกัดและวิเคราะห์สารตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 3 ชุด

2.3.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตปิเปตสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ปริมาตร 1.50 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม 0.25 มิลลิลิตร กรด HCl เข้มข้น และ Zn ผง 0.13 กรัม คนสารละลายเล็กน้อย ก่อนกรองสารละลายผ่านสำลี ใส่ลงในหลอดทดลองอันใหม่ จากนั้นเติม 1.00 มิลลิลิตร 1% w/v Sulfanilamide ใน 5% w/v HCl และ 1.00 มิลลิลิตร 1% w/v NED เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยทำการทดลองสกัดสารและวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 3 ชุด

ผลการทดลองและอภิปราย

ผลการศึกษากฎฟามาตรฐานของไนโตรท์ด้วยสารละลาย Griess การศึกษากฎฟามาตรฐานของไนโตรท์ด้วยสารละลาย Griess ซ้ำ 10 ครั้ง โดยใช้สารละลายมาตรฐานไนโตรท์ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 10.9 ไมโครโมลาร์ (หัวข้อ 2.3.1) เมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนโตรท์กับค่าการดูดกลืนแสงพบว่าไนโตรท์มีกราฟช่วงความเป็นเส้นตรง และค่า Correlation coefficient (R^2) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2 และสรุปผลการสร้างกราฟฟามาตรฐานของไนโตรท์ด้วยสารละลาย Griess จำนวน 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงกราฟฟามาตรฐานไนโตรท์ช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.00 – 10.9 ไมโครโมลาร์

ตารางที่ 1 แสดงผลการสร้างกราฟมาตรฐานของไนโตรเจนด้วยสารละลาย Griess จำนวน 10 ครั้ง

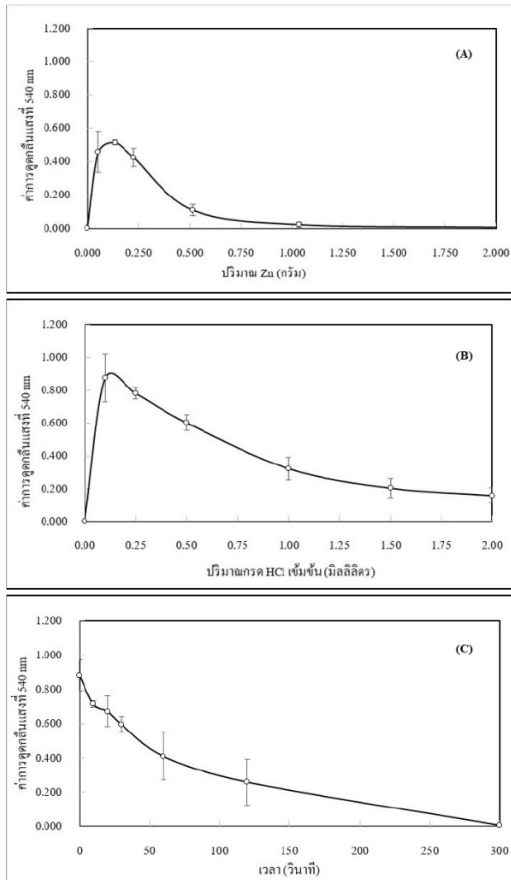
ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	สมการเชิงเส้น ($y = mx + C$)	ความชัน (Slope, m)	R^2
1	15/12/2559	$y = 0.0542x + 0.0012$	0.0542	0.9992
2	16/12/2559	$y = 0.0515x + 0.0226$	0.0515	0.9998
3	16/12/2559	$y = 0.0545x + 0.0023$	0.0545	0.9995
4	16/12/2559	$y = 0.0540x + 0.0038$	0.0540	0.9999
5	16/12/2559	$y = 0.0539x + 0.0083$	0.0539	0.9999
6	19/12/2559	$y = 0.0522x + 0.0090$	0.0522	0.9995
7	19/12/2559	$y = 0.0520x + 0.0063$	0.0520	0.9988
8	19/12/2559	$y = 0.0535x + 0.0171$	0.0535	0.9983
9	21/12/2559	$y = 0.0536x + 0.0162$	0.0536	0.9920
10	21/12/2559	$y = 0.0574x + 0.0051$	0.0574	0.9986
เฉลี่ย			0.0537	0.9986
Standard deviation (SD)			1.08×10^{-3}	0.0025
Relative standard deviation (%RSD)			2.02	0.24
3 × SD ของ Intercept (C)			0.0222	
(3 × S.D. ของ Intercept)/Slope = Limit of detection (LOD as NO_2^-)				0.41 μM

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าผลการสร้างกราฟมาตรฐานของไนโตรเจนทั้งหมด 10 ครั้ง มีความถูกต้องแม่นยำสูงและน่าเชื่อถืออย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกราฟมาตรฐานที่สร้างภายในวันเดียวกัน (Intraday) หรือสร้างระหว่างวันที่ต่างกัน (Inter day) พิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) มีค่าต่ำกว่า 5% ทั้งค่าความชัน (Slope, m) และสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรง (Regression coefficient, R^2) และยังพบอีกว่าวิธีการที่เสนอนี้มีความไว (Sensitivity) ของตรวจวัดที่ดี พิจารณาได้จากค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด

(Limit of detection, LOD as NO_2^-) มีค่าต่ำมากเพียง 0.41 μM ในรูปของไนโตรเจน กล่าวได้ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะแก่การนำไปประยุกต์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนตัวอย่างเข้มข้นที่เกิดจากการยิงปืน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นไนไตรท์โดยใช้ Zn เป็นตัวรีดิวซ์

จากผลการศึกษาที่ได้จากหัวข้อ 2.3.2.1 – 2.3.2.3 พบว่าปัจจัยต่างๆที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณ Zn ปริมาณกรด HCl เข้มข้น และเวลา ล้วนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นไนไตรท์แสดงดัง



รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของ (A) ปริมาณ Zn (B) ปริมาณกรด HCl เข้มข้น และ (C) เวลาในการรีดิวซ์ ต่อประสิทธิภาพการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ (n=3)

รูปที่ 3 ด้วยเหตุที่ไอออนไนเตรท (NO_3^-) สามารถถูกรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์หลายชนิดแล้วและยังสามารถเกิดสารผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสารประกอบของไนโตรเจนหลายชนิดด้วย เรียงลำดับสารผลิตภัณฑ์ตามเลขออกซิเดชันของไนโตรเจนอะตอมจากมากไปหาน้อยได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และแก๊สไนโตรเจน (N_2) ตามลำดับ

ทั้งนี้การเกิดสารผลิตภัณฑ์ใดมากหรือน้อยนั้นเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความแรงของสารรีดิวซ์ที่ใช้ ปริมาณของสารรีดิวซ์ สภาวะความเป็นกรด - ด่าง ของสารละลาย อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์ เป็นต้น เมื่อพิจารณารูปที่ 3 (A) จะเห็นว่าปริมาณ Zn สำหรับรีดิวซ์ไนเตรทเพื่อให้เกิดไนไตรท์ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 0.05 – 0.23 กรัม เพราะพบว่าการใช้ปริมาณ Zn มากเกินไปทำให้

เกิดสปีชีส์ NO_2^- - ลงลด นักวิจัยจึงเลือกปริมาณ Zn เท่ากับ 0.13 กรัมเป็นปริมาณที่เหมาะสม ขณะที่ผลในรูปที่ 3 (B) ได้บอกให้ทราบว่าปริมาณกรด HCl เข้มข้นเท่ากับ 0.25 มิลลิลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยารีดักชันของไนเตรท ขณะที่เมื่อพิจารณารูปที่ 3 (C) พบว่าปฏิกิริยารีดักชันของไนเตรทเป็นไนไตรท์นั้นเกิดขึ้นโดยทันทีอย่างรวดเร็ว (0 วินาที) เมื่อผสมสารรีดิวซ์ลงในสารละลายของไนเตรท โดยพบว่าการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นกลับทำให้สารผลิตภัณฑ์ไนไตรท์มีปริมาณลดลง ด้วยเหตุว่าปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นตลอดเวลาทำให้เกิดสปีชีส์อื่นๆ ของไนโตรเจนที่มีแนวโน้มเลขออกซิเดชันของไนโตรเจนอะตอมลดลงต่ำกว่า +3 นั้นเอง สามารถสรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ แสดงดังตารางที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งพิจารณาเห็นว่าเป็นสภาวะที่ง่าย สะดวก ต้นทุนต่ำ และรวดเร็ว กล่าวได้ว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การไปประยุกต์เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทต่อไป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์

การสร้างกราฟ

มาตรฐานของไนไตรท์ตามหัวข้อที่ 2.3.3.1 โดยใช้สารละลายมาตรฐานผสมระหว่างไนไตรท์และไนเตรทที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.00 ถึง 546 ไมโครโมลาร์ จากนั้นจึงดำเนินการนำสารละลายแต่ละความเข้มข้นทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess โดยยังไม่ได้เติม Zn ซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ในขั้นตอนนี้ จึงสามารถสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์ (ในสารละลายผสม) แสดงดังสมการที่ 1

$$Y_1 = m_1 X_1 + C \quad \dots\dots(1)$$

เมื่อ Y_1 เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตภัณฑ์ (Absorbance, Abs) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร m_1 เป็นค่าความชัน ($\text{Abs } \mu\text{M}^{-1} \text{NO}_2^-$) ของกราฟมาตรฐานในหน่วย X_1 เป็นความเข้มข้นไมโครโมลาร์ของไนไตรท์ (μM) และ C เป็นจุดตัดแกน Y (Intercept) ตามลำดับ

3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายผสมไนไตรท์และไนเตรท

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายผสมไนไตรท์และไนเตรทตามหัวข้อที่ 2.3.3.2 โดยใช้สารละลายมาตรฐานผสมระหว่างไนไตรท์และไนเตรทที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.00 ถึง 546 ไมโคร

ตารางที่ 2 แสดงปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์โดยใช้ Zn เป็นตัวรีดิวซ์

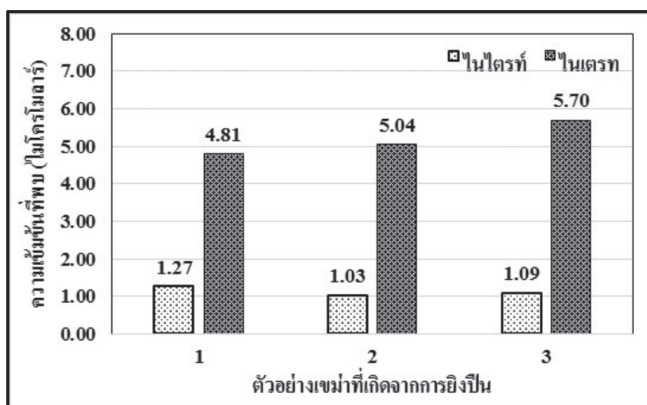
ปัจจัยที่ศึกษา	ช่วงที่ทำการศึกษา	เงื่อนไขที่เหมาะสมที่เลือก
ปริมาณ Zn	0.00 – 2.00 กรัม	0.13 กรัม
ปริมาณกรด HCl เข้มข้น	0.00 – 2.00 มิลลิลิตร	0.25 มิลลิลิตร
เวลาที่ใช้สำหรับการรีดิวซ์	0 – 300 วินาที	ทันที (0 วินาที)

โมลาร์ จากนั้นจึงดำเนินการนำสารละลายแต่ละความเข้มข้นทำปฏิกิริยากับ 0.13 กรัม Zn ซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ และ 0.25 มิลลิลิตร กรด HCl เข้มข้น ก่อนกรองสารละลายที่ได้และนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess เช่นเดียวกัน จึงสามารถสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายผสมแสดงในรูปของไนไตรท์ (คำนวณความเข้มข้นโมโครโมลาร์รวมของ NO_3^- และ NO_2^- ทว่าแสดงในรูปของไนไตรท์) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร แสดงดังสมการที่ 2

$$Y_2 = m_2 X_2 + C \quad \dots\dots(2)$$

เมื่อ Y_2 เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตภัณฑ์ (Absorbance, Abs) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร m_2 เป็นค่าความชัน ($\text{Abs } \mu\text{M}^{-1} \text{ as } \text{NO}_2^-$) ของกราฟมาตรฐานในหน่วย X_2 เป็นความเข้มข้นรวมโมโครโมลาร์ของไนไตรท์และไนเตรท (μM) และ C เป็นจุดตัดแกน Y (Intercept) ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในสารละลายตัวอย่าง ทำได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายตัวอย่างกับสารละลาย Griess จะได้ค่า Y_1 แล้วจึงแทนค่า Y_1 ที่ได้ลงในสมการที่ 1 จะสามารถคำนวณความเข้มข้นโมโครโมลาร์ของไนไตรท์ (X_1) ในตัวอย่างได้ จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างชุดเดิมที่มีปริมาตรเท่าเดิมมาทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ Zn 0.13 กรัม และ 0.25 มิลลิลิตร กรด HCl เข้มข้น กรองสารละลายแล้วให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess ก่อนทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะได้ค่า Y_2 แล้วแทนค่าลงในสมการที่ 2 จะสามารถคำนวณความเข้มข้นโมโครโมลาร์ของไนไตรท์และไนเตรท (X_2) ในตัวอย่างได้ สุดท้ายนักวิจัยก็จะสามารถคำนวณความเข้มข้นโมโครโมลาร์ของไนเตรทในสารตัวอย่างได้จากค่า $X_2 - X_1$ นั่นเอง ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่เก็บบริเวณเป้าที่ถูกยิงด้วยระยะยิง 2 นิ้ว ซึ่งถูกเก็บภายหลังการยิงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

จากผลในรูปที่ 4 พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณไนโตรเจนที่พบน้อยกว่าปริมาณไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 4 – 5 เท่า การประยุกต์วิธีการสเปกโตรโฟโตเมตริกสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี สามารถวิเคราะห์พบสารที่สนใจทั้งสองชนิดในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนซึ่งเก็บภายหลังการยิงถึง 6 ชั่วโมง นั่นกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่มีความไวที่ดี เพราะโดยปกติปริมาณไนโตรเจนและไนเตรทจะลดลงอย่างมากเมื่อถูกทิ้งไว้เป็นเวลานานก่อนการเก็บตัวอย่าง

3.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

ผลการตรวจสอบค่าร้อยละคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน จำนวน 3 ชุด โดยการนำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตริก ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ตามหัวข้อที่ 2.3.3.4 โดยการเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานไนโตรเจน (สมการที่ 1) และไนโตรเจนผสมไนเตรท (สมการที่ 2) ซึ่งทำการสร้างใหม่ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง ได้แก่ $y = 0.0629x_1 -$

0.0012 และ $y = 0.0015x_2 - 0.0208$ ตามลำดับ พบปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง และปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างที่ถูกเติมสารละลายมาตรฐานไนโตรเจนแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อนำความเข้มข้นของไนโตรเจนมาคำนวณค่าร้อยละคืนกลับของไนโตรเจนในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน พบว่าได้ร้อยละคืนกลับของไนโตรเจนเฉลี่ย เท่ากับ 72.34

สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วยวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตริก โดยการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไนโตรเจนกับสารละลาย Griess ซึ่งจะเกิดผลิตภัณฑ์สีชมพู และศึกษาการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนโตรเจนด้วย Zn เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนโตรเจน ได้แก่ ปริมาณของกรด HCl เข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 0.25 มิลลิลิตร ปริมาณของ Zn ที่ใช้เท่ากับ 0.13 กรัม และเวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์เกิดสมบูรณ์โดยทันที (0 วินาที) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนซึ่งเก็บที่เป้าหมายหลังการยิงเป็นเวลา 6 ชั่วโมงด้วย

ตารางที่ 3 แสดงค่าร้อยละคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของไนโตรเจน (ไมโครโมลาร์)			ร้อยละคืนกลับ
	สารละลายตัวอย่าง	สารละลายตัวอย่างผสมกับสารละลายมาตรฐานที่ถูกเติมลงไป	สารละลายมาตรฐานที่ถูกเติมลงไป	
1	1.27	1.57	0.47	63.82
2	1.03	1.38	0.47	74.47
3	1.09	1.46	0.47	78.72
เฉลี่ย				72.34

วิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี พบว่าสามารถวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี จึงสรุปได้ว่าวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรีที่เสนอมีความไวที่ดีและสามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อนำไปประยุกต์สำหรับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย จนส่งผลให้งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] เบญจ พุฒินิล. (2554). การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนโตรเจนในเขม่าดินปืนด้วยไอออนโครมาโตกราฟี.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [2] Morelato, M., Beavis, A., Ogle, A., Doble, P., Kirkbride, P., Roux, C. (2012). Screening of gunshot residues using desorption electrospray ionization – mass spectrometry (DESI – MS). Journal of Forensic Science International. 101 – 106.
- [3] ยุทธพงศ์ เศรษฐสมบัติ และศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง. (2557). การหาปริมาณไนเตรทและไนโตรเจนในเขม่าปืนที่ติดบนผิวหนังโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 1(2).
- [4] Patton C. J. and Kryskalla J. R., Colorimetric Determination of Nitrate Plus Nitrite in Water by Enzymatic Reduction, Automated Discrete Analyzer Methods. Chapter 8 Section B, Methods of the National Water Quality Laboratory Book 5, Laboratory Analysis, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2011
- [5] Chen G., Yuan D., Huang Y., Zhang M. and Bergman M., In-field determination of nanomolar nitrite in seawater using a sequential injection technique combined with solid phase enrichment and colorimetric detection. Analytica Chimica Acta 2008, 620, 82–88
- [6] Pasquali C. E. L., Gallego-Pico A., Hernando P. F., Velasco M. and Alegria J. S. D., Two rapid and sensitive automated methods for the determination of nitrite and nitrate in soil samples. Microchemical Journal 2010, 94, 79–82
- [7] Feng S., Zhang M., Huang Y., Yuan D. and Zhu Y., Simultaneous determination of nanomolar nitrite and nitrate in sea water using reverse flow injection analysis coupled with a long path length liquid waveguide capillary cell. Talanta 2013, 117, 456–462

- [8] Bhakta S. A., Borba R., Taba Jr. M., Garcia C. D. and Carrilho E., Determination of nitrite in saliva using microfluidic paper-based analytical devices. *Analytica Chimica Acta* 2014, 809, 117– 122
- [9] Zhang H., Qi S., Dong Y., Chen X., Xu Y., Ma Y. and Chen X., A sensitive colorimetric method for the determination of nitrite in water supplies, meat and dairy products using ionic liquid-modified methyl red as a colour reagent. *Food Chemistry* 2014, 151, 429–434
- [10] Troska P., Chudoba R., Danc L., Bodor R., Horciciak M., Tesarova E. and Masar M., Determination of nitrite and nitrate in cerebrospinal fluid by microchip electrophoresis with microsolid phase extraction pre-treatment. *Journal of Chromatography B* 2013, 930, 41– 47
- [11] Betta F. D., Vitali L., Fett R. and Costa A. C. O., Development and validation of a sub-minute capillary zone electrophoresis method for determination of nitrate and nitrite in baby foods. *Talanta* 2014, 122, 23–29
- [12] Ferreira I.M.P.L.V.O. and Silva S., Quantification of residual nitrite and nitrate in ham by reverse-phase high performance liquid chromatography/diode array detector. *Talanta* 2008, 74, 1598–1602
- [13] Pagliano E., Meija J. and Mester Z., High-precision quadrupole isotope dilution method for simultaneous determination of nitrite and nitrate in seawater by GCMS after derivatization with triethyloxonium tetrafluoroborate. *Analytica Chimica Acta* 2014, 824, 36–41
- [14] ภิญญดา อันสนั่น สุธา ภูสิทธิศักดิ์ และจิรวัชร ธนุรัตน์. (2556). การหาปริมาณไนเตรทในเขม่าดินปืนภายในล้ากล่องปืนโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี. วารสารวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 13(4).

ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี

Instant microwave riceberry cakes

นิสา การเพียร¹ พชริดา ยุทธกุล¹
รัชนิกร ใจบุญ¹ ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน¹

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี โดยศึกษาอัตราส่วนของ แป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้า(40:60) ต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รีทั้งหมด 4 ระดับ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ อัตราส่วนแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 70 ต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รีร้อยละ 30 จากการศึกษาพบว่า ลักษณะ สีของผลิตภัณฑ์ คือ สีน้ำตาลออกดำ มีค่าสี L^* เท่ากับ 70.59 ± 0.62 a^* เท่ากับ 2.23 ± 0.04 b^* เท่ากับ 7.00 ± 0.09 ค่า C^* เท่ากับ 7.35 ± 0.08 และ h อยู่ในช่วงสีน้ำตาลออกม่วง ในผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบของ ความชื้น ร้อยละ 7.26 ± 0.09 มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 5.31 ± 0.49 ไขมันร้อยละ 0.66 ± 0.08 เกลือร้อยละ 3.66 ± 0.05 เยื่อใยร้อยละ 0.70 ± 0.03 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 82.02 ± 0.27 อะไมโลสร้อยละ 20.58 ± 0.10 มีค่าพลังงานทั้งหมด เท่ากับ 355.27 ± 2.99 kcal/100g มีปริมาณแอนติออกซิแดนท์ เท่ากับ 86.64 ± 7.22 μ mol/g และมีปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 0.018 ± 0.04 mg/L ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella sp.*, *Staphylococcus*, *Bacillus* และ *Clostridium perfringens* ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี และ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง เท่ากับ 7.55

คำสำคัญ: แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี, เค้ก, ไมโครเวฟ

บทนำ

เค้กจัดเป็นขนมที่มีกระบวนการทำให้สุก โดยการอบ เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ทำจากแป้งสาลี น้ำตาลทราย ผงฟู เกลือ ไขมัน นม ไข่ไก่ และกลิ่นรส ส่วนผสมเหล่านี้เมื่อรวมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม จะ

ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เค้กที่มีเนื้อละเอียด นุ่ม รสหวาน และมีกลิ่นหอมและเค้กจัดเป็นขนมที่นิยมบริโภค กันทุกกลุ่มชน ข้าวไรซ์เบอร์รี (Riceberry) ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าว

¹ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ชาวดอกมะลิ 105 โดยส่วนมากจะอยู่ในเขตภาคเหนือของประเทศไทย มีลักษณะเป็นชาวเจ้ามีสีม่วงเข้ม รูปร่างเมสลิคเรียวยาว มีคุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่จะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่างๆที่ถูกสร้างขึ้นในร่างกาย ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล และ ยังมีประโยชน์ในการต้านมะเร็งและช่วยชะลอวัย (รัชนิกร แสงขาว. 2554)

ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่จัดเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้ว ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาเค้กให้ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ง่ายๆที่บ้าน ได้ความสดใหม่ อบร่อนๆ พร้อมรับประทานและยังประหยัดเวลาด้วยเครื่องไมโครเวฟ ไมโครเวฟเค้กถือว่าเป็นการเพิ่มทางเลือกหนึ่งในการรับประทานเค้ก และในงานวิจัยนี้ได้มีการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาเป็นส่วนประกอบหลักในเค้กเพื่อเพิ่มคุณค่า ทางโภชนาการ และเป็นการปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส โดยจะนำส่วนผสมเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่กึ่งสำเร็จรูปพร้อมรับประทาน ผู้บริโภคเพียงเติมน้ำในส่วนผสม คนให้เข้ากันและนำเข้าเครื่องไมโครเวฟ จะได้เค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารพร้อมรับประทาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาองค์ประกอบ (Proximate Analysis) ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่และตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ ได้แก่ แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ แป้งสาลี (แป้งเค้ก) แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย นมผงขาดมัน

เนย ผงฟู สูตรดับเบิลแอ็คติง เกลือ สารเสริมคุณภาพเอสพี และแป้งเค้กสำเร็จรูปรสช็อกโกแลตสำหรับไมโครเวฟ (ตัวอย่างทางการค้า)

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบ (Proximate Analysis) ของข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่นำไปใช้ในการทดลองนี้ ได้ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการไม่เจือปนเป็นแป้งแล้ว นำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มาตรวจวิเคราะห์ ดังนี้

1. การตรวจสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าสี $L^* a^* b^*$ และค่าสี $L^* C^* h$
2. ตรวจสอบสมบัติด้านเคมี วิเคราะห์ค่าความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณ-เถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ค่าพลังงานทั้งหมดในอาหาร ปริมาณอะไมโลส ปริมาณแอนติออกซิแดนท์ และปริมาณแอนโธไซยานิน

ตอนที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ ศึกษาอัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้า (40 : 60) ต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ แป้งสาลีและ แป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 90:10 80:20 70:30 และ 60:40 ตามลำดับ นำเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้แต่ละสูตรมาตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1. การตรวจสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ วัดเนื้อสัมผัส วัดปริมาตรเค้ก วัดค่าสี และลักษณะโพรงอากาศ
2. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี Hedonic scale ระดับคะแนน 1-9 โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคนจำนวน 30 คน

ตอนที่ 3 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่นำสูตรไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือกมาตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1. การตรวจสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสี $L^*a^*b^*$ และ L^*c^*h

2. การตรวจสอบคุณสมบัติด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณ เยื่อใย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ค่าพลังงานทั้งหมด ปริมาณแอนติออกซิแดนซ์ และ แอนโทไซยานิน

3.การตรวจสอบด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ การตรวจเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella sp.*, *Staphylococcus*, *Bacillus* และ *Clostridium perfringens* ต้องไม่พบเกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 364) พ.ศ. 2556 เรื่องอาหารที่สำเร็จรูปชนิดผงหรือแห้ง

4. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ได้แก่ ประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ด้วยวิธี Hedonic scale ระดับคะแนน 1-9 โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคนจำนวน 100 คน

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

ศึกษาองค์ประกอบ (Proximate Analysis) ของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีค่าสีความสว่าง (L^*) เท่ากับ 76.11 ± 0.07 ค่าสีเหลือง (a^*) เท่ากับ 5.04 ± 0.18 ค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 8.60 ± 0.04 ค่าความสดใของสี (C^*) เท่ากับ 9.97 ± 0.12 และค่าเฉดสี (h) เท่ากับ 59.60 ± 0.81 ซึ่งค่าเฉดสีที่ได้อยู่ในโทนสีน้ำเงินออกม่วง เมื่อนำ

ไปตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านเคมี ในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณความชื้นร้อยละ 12.19 ± 0.14 และมีค่าโปรตีนร้อยละ 10.58 ± 0.62 ไขมันร้อยละ 1.28 ± 0.17 เถ้าร้อยละ 1.68 ± 0.22 เยื่อใยร้อยละ 0.85 ± 0.04 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 73.44 ± 0.38 อะไมโลสร้อยละ 20.77 ± 0.19 มีค่าพลังงานทั้งหมดร้อยละ 349.19 ± 3.63 kcal/100g มีปริมาณแอนติออกซิแดนซ์ เท่ากับ $134.64 \pm 0.32 \mu \text{mol AEAC/gFw}$ และมีปริมาณแอนโทไซยานิน เท่ากับ 0.012 ± 0.07 mg/L จากการศึกษาของ นรินทร์ภพ ช่วยการ และคณะ (2556) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณ ความชื้นร้อยละ 11.53 ± 0.05 โปรตีนร้อยละ 8.32 ± 0.16 ไขมันร้อยละ 1.40 ± 0.05 เถ้าร้อยละ 1.45 ± 0.04 เยื่อใยร้อยละ 1.95 ± 0.04 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 75.35 ± 0.33 จะเห็นว่าปริมาณความชื้น ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอ้างอิง มีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยปริมาณเยื่อใยมีค่าต่ำกว่างานวิจัยอ้างอิง และมีปริมาณโปรตีนสูงกว่างานวิจัยอ้างอิง ซึ่งอาจเป็นผลมา

จากพื้นที่การเพาะปลูกข้าวจากการทดลองมาจากจังหวัดนครปฐม ส่วนข้าวจากงานวิจัยอ้างอิงปลูกในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จึงอาจทำให้องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งมีผลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

การตรวจสอบคุณภาพ	แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่	แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่*
ค่าความสว่าง (L^*)	76.11±0.07	
ค่าสีแดง (a^*)	5.04±0.18	
ค่าสีเหลือง (b^*)	8.60±0.04	
ค่าความเข้มของสี (C^*)	9.97±0.12	
ค่าเฉดสี (hue หรือ $^{\circ}h$)	59.60±0.81	
ความชื้น (%)	12.19±0.14	11.53±0.05
โปรตีน (% dry weight)	10.58±0.62	8.32±0.16
ไขมัน (% dry weight)	1.28±0.17	1.40±0.05
เถ้า (% dry weight)	1.68±0.22	1.45±0.04
เยื่อใย (% dry weight)	0.85±0.04	1.95±0.04
คาร์โบไฮเดรต (% dry weight)	73.44±0.38	75.35±0.33
พลังงานทั้งหมด (in calories per 100 gram)	349.19±3.63	
อะไมโลส (%)	20.77±0.19	
แอนติออกซิแดนท์ (μ mol AEAC/gFw)	134.64±0.32	
แอนโทไซยานิน (mg/L)	0.012±0.07	

*นรินทร์ภพ ช่วยการ และคณะ (2556)

ตอนที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าว

เจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ การศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 90:10 80:20 70:30 และ 60:40 ตามลำดับ ที่มีผลต่อการผลิตไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากผลการศึกษาพบว่า แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าในอัตราส่วนที่มีแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เค้กจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและร่วนซุยขึ้น มีลักษณะโพรงอากาศที่เล็กลงและละเอียดมากขึ้น เมื่อมีการเติม อัตราส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปริมาตรเค้กเพิ่ม

ขึ้นแต่มีความหนาแน่นลดลง เนื่องจากในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณเยื่อใยสูง เมื่อมีข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้นจึงทำให้ปริมาณเยื่อใยของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไปขัดขวางการเกิดเจล ของแป้งข้าวเจ้า ทำให้เนื้อเค้กมีลักษณะร่วนซุยและนุ่มขึ้น และเมื่อมีอัตราส่วนของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่าความสดใของสี (C^*) และค่าเฉดสี ($^{\circ}h$) เพิ่มขึ้น เนื่องจากในข้าวไรซ์เบอร์รี่มีรงควัตถุแอนโทไซยานิน จึงทำให้เค้กมีสีเข้มขึ้น ซึ่งค่าเฉดสีที่ได้ อยู่ในโทนสีน้ำเงินออกม่วง ซึ่งมีผลแสดงดังภาพที่ 1 และตารางที่ 2



ภาพที่ 1 ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 สูตร อัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ (1) 90:10 (2) 80:20 (3) 70:30 และ (4) 60:40 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงคุณภาพด้านกายภาพของไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่

ค่าที่วิเคราะห์	อัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ร้อยละ)			
	90:10	80:20	70:30	60:40
Hardness (N)	871.67 ^a ±24.05	848.89 ^a ±77.76	505.47 ^b ±58.06	454.12 ^b ±3.06
Springiness	0.82 ^a ±0.03	0.80 ^a ±0.02	0.67 ^b ±0.11	0.50 ^c ±0.001
Gumminess	438.27 ^a ±13.67	374.43 ^b ±14.45	204.72 ^c ±4.33	194.61 ^c ±4.19
น้ำหนักเค้กหลังอบ (g)	170.29 ^b ±1.65	170.12 ^b ±0.36	175.84 ^a ±0.53	174.43 ^a ±0.67
ปริมาตรเค้ก (cm ³)	161.33 ^c ±2.88	173.33 ^c ±2.88	181.66 ^b ±2.88	193.33 ^a ±2.88
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.05 ^a ±1.58	0.98 ^a ±2.01	0.96 ^b ±1.09	0.90 ^b ±1.35
ค่าความสว่าง (L*)	19.14 ^c ±0.49	24.19 ^c ±0.43	27.50 ^a ±0.35	28.80 ^b ±0.38
ค่าสีแดง (a*)	6.67 ^d ±0.78	8.81 ^c ±0.36	9.43 ^b ±0.10	10.39 ^a ±0.19
ค่าสีเหลือง (b*)	6.81 ^c ±0.73	7.51 ^b ±0.51	10.84 ^a ±0.38	11.13 ^a ±0.24
ค่าความเข้มของสี (C*)	8.84 ^d ±0.91	12.29 ^c ±0.72	14.28 ^a ±0.42	15.23 ^a ±0.14

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ยมาจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี Hedonic scale ระดับคะแนน 1-9 โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคนจำนวน 30 คน คะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวม มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีการทดแทนแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าด้วยข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 10-30 มี

คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกัน จึงเลือกที่ร้อยละ 30 เพราะมีการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้มากที่สุด และเป็นอัตราส่วนที่ทำให้เค้กมีลักษณะปรากฏที่ดี ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กนุ่มและขึ้นฟูพอดี เนื้อไม่ร่วนซุยและไม่แข็งจนเกินไป จึงทำให้ได้รับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูง ส่วนคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสีและกลิ่น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งมีผลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

อัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ร้อยละ)	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
90:10	7.10±1.24	6.80±1.15	6.69ab±1.30	6.53±1.30ab	6.86ab±1.07
80:20	7.40±0.96	7.23±0.93	7.13ab±1.16	6.86±1.13ab	7.30ab±0.98
70:30	7.60±0.93	7.23±1.10	7.36a±0.99	7.16±1.57a	7.60a±1.13
60:40	7.03±1.06	6.96±1.34	6.70b±1.34	6.43±1.22b	6.53c±1.16

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ยมาจากการวิเคราะห์ 30 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตอนที่ 3 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการยอมรับของผู้บริโภคของ ผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการตรวจสอบคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ทางด้าน กายภาพ ได้แก่วัดค่าสี พบว่า มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 70.59 ± 0.62 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 2.23 ± 0.04 ค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 7.00 ± 0.09 ค่าความสดสี ของสี (C^*) เท่ากับ 7.35 ± 0.08 และค่าเฉดสี ($^{\circ}h$) อยู่ในโทนสีน้ำเงินออกม่วง เมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ ทางด้านเคมี พบว่า ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าว ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณความชื้น ร้อยละ 7.26 ± 0.09 มี ปริมาณโปรตีน ร้อยละ 5.31 ± 0.49 โดยน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.66 ± 0.08 โดยน้ำหนักแห้ง เถ้า ร้อยละ 3.66 ± 0.05 โดยน้ำหนักแห้ง เยื่อใยร้อยละ 0.70 ± 0.03 โดยน้ำหนักแห้ง คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.02 ± 0.27

โดยน้ำหนักแห้ง และอะไมโลสร้อยละ 20.58 ± 0.10 โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าพลังงานทั้งหมด เท่ากับ 355.27 ± 2.99 kcal/100g มีปริมาณแอนติ ออกซิแดนซ์ เท่ากับ 86.64 ± 7.22 μ mol/g และมี ปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 0.018 ± 0.04 mg/L เมื่อนำมาตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* ปรากฏว่าไม่พบ เชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอ รี่ และเมื่อนำไปประเมินคุณภาพด้านประสาท สัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ใน คุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยทดสอบด้วยผู้บริโภค จำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนด้านสี มากที่สุด รองลงมาคือคะแนนด้านความชอบโดย รวม รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัส ตามลำดับ ซึ่งอยู่ ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งมีผลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ในรูปแบบผงที่พร้อมเข้าไมโครเวฟ เพื่อการบริโภค

ค่าที่วิเคราะห์	ปริมาณ
ค่าความสว่าง (L^*)	70.59 ± 0.62
ค่าสีแดง (a^*)	2.23 ± 0.04
ค่าสีเหลือง (b^*)	7.00 ± 0.09
ค่าความสดสีของสี (C^*)	7.35 ± 0.08
ค่าเฉดสี (hue หรือ $^{\circ}h$)	72.28 ± 0.44
ความชื้น (%)	7.26 ± 0.09
โปรตีน (% dry weight)	5.31 ± 0.49
ไขมัน (% dry weight)	0.66 ± 0.08
เถ้า (% dry weight)	3.66 ± 0.05
เยื่อใย (% dry weight)	0.70 ± 0.03
คาร์โบไฮเดรต (% dry weight)	82.02 ± 0.27
พลังงานทั้งหมด (in calories per 100 gram)	355.27 ± 2.99
อะไมโลส (%)	20.58 ± 0.10
แอนติออกซิแดนซ์ (μ mol AEAC/gFw)	86.64 ± 7.22
แอนโธไซยานิน (mg/L)	0.018 ± 0.04

ค่าเฉลี่ยมาจากการวิเคราะห์ 3ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 5 พบว่า การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ผู้บริโภคให้คะแนนด้านสีมากที่สุด อาจเป็นเพราะสีจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีโทนดำอมม่วงแล้วเป็นสีที่ได้จากธรรมชาติและมีประโยชน์ เมื่อนำมาใส่ในผลิตภัณฑ์เค้กจะทำให้สีชัดเจนและดึงดูดความสนใจได้มากขึ้น รองลงมาคือคะแนนด้านความชอบโดยรวม รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัส ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง

ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณความชื้น ร้อยละ 7.26 ± 0.09 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.31 ± 0.49 โดยน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.66 ± 0.08 โดยน้ำหนักแห้ง เถ้าร้อยละ 3.66 ± 0.05 โดยน้ำหนักแห้ง เยื่อใยร้อยละ 0.70 ± 0.03 โดยน้ำหนักแห้ง คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 82.02 ± 0.27 โดยน้ำหนักแห้ง และอะไมโลสร้อยละ 20.58 ± 0.10 โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 355.27 ± 2.99 kcal/100g มีปริมาณแอนติออกซิแดนซ์ เท่ากับ 86.64 ± 7.22 μ mol/g และมีปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 0.018 ± 0.04 mg/L

ตารางที่ 5 แสดงการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่

สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
7.62 ± 0.08	7.49 ± 0.08	7.512 ± 0.08	7.07 ± 0.08	7.55 ± 0.08

ค่าเฉลี่ยมาจากการวิเคราะห์ 100 ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุป

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ อัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมในการผลิตไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ ร้อยละ 70:30 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับมาก และนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าสี พบว่า มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 70.59 ± 0.62 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 2.23 ± 0.04 ค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 7.00 ± 0.09 ค่าความเข้มของสี (C^*) เท่ากับ 7.35 ± 0.08 และค่าเฉดสี (h) เท่ากับ 72.28 ± 0.44 การตรวจวิเคราะห์ทางด้านเคมี พบว่า ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าว

เมื่อนำมาตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* ปรากฏว่าไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ และเมื่อนำไปประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนด้านสีมากที่สุด รองลงมาคือคะแนนด้านความชอบโดยรวม รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัส ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง

อ้างอิง

- กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ.
(2556). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่
ที่3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 65-70.
- จิตนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (25440).
เบเกอรี่ เทคโนโลยีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 6.
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ
อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 4.
- ณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2550). รำข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สาร
ต้านอนุมูลอิสระสูง แปรรูปน้ำมันรำข้าว
และลูกกลอนรำข้าวใช้รักษาโรค.
เกษตรกรรมธรรมชาติ. 10(4), 13-17.
- นรินทร์ภพ ช่วยการ,พร้อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล,
ณัฐฐา เล่ากุลจิตต์, อุทัยวรรณ สุทธิ
คันสนีย์ และฉัตรภา หัตถโกศล. (2556).
อิทธิพลของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสมบัติทาง
เคมี-กายภาพและทางประสาทสัมผัสของ
ไอศกรีมไขมันต่ำ. วิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่
44 ฉบับที่ 2
- ภัทรนันท์สิงห์ฉลาด, วิชุดาอารีรักษ์และอุจน์ เหลาเคน.
(2556). ไมโครเวฟเค้กฟักทองกิ่งสำเร็จรูป.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. (พิเศษ),
589-592.

การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากรูปลูกผักกวางตุ้ง และผลผลิตของผักกวางตุ้ง

Comparing the formulation of *Typha angustifolia* compost on the growth and yield of Chinese cabbage

ภิรมณ แสงมณี¹ สุริยุ เสนาอินทร์¹
ชัยพร เจริญพร¹

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากรูปลูกผักกวางตุ้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งการทดลองเป็น 4 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 4 ซ้ำ คือ ไม้ใส่ปุ๋ย (T1 ; ตัวควบคุม) ปุ๋ยหมักจากรูปลูก (T2) ปุ๋ยน้ำหมักจากรูปลูก (T3) และปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) จากผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของลำต้น ความยาวของใบ ความกว้างของใบ และน้ำหนักสด ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ให้ผลดีที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงของลำต้น ความยาวของใบ ความกว้างของใบ และน้ำหนักสด เฉลี่ย 32.21 (ซม.), 19.08 (ซม.), 12.30 (ซม.) และ 0.62 (กก.) ตามลำดับ แต่ในด้านความยาวของใบและน้ำหนักสดให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปุ๋ยหมักจากรูปลูก ในขณะที่ T2 และ T3 ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 27.38 และ 26.51 ซม. ตามลำดับ ความยาวของใบเฉลี่ย 17.99 และ 16.50 ซม. ตามลำดับ ความกว้างของใบเฉลี่ย 10.81 และ 10.30 ซม. ตามลำดับ และน้ำหนักสดเฉลี่ย 0.52 และ 0.43 กก. ตามลำดับ ส่วน T1 ให้ผลด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงของลำต้น ความยาวของใบ ความกว้างของใบ และน้ำหนักสดเฉลี่ย 17.10 (ซม.), 12.82 (ซม.), 7.12 (ซม.) และ 0.34 (กก.) ตามลำดับ แต่ในด้านน้ำหนักสดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ T3

คำสำคัญ: รูปลูก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยน้ำหมัก ผักกวางตุ้ง

¹ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีเพิ่มมากขึ้นในการทำการเกษตร มีการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ของต้นพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่แข็งแรงสมบูรณ์ การใช้สารเคมีทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลายส่งผลให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในพืชที่เพาะปลูก นอกจากนี้สารเคมีดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อในด้านต่างๆ เช่น ด้านสุขภาพ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐกิจ ทำให้เกิดผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น(วัลยาพร, 2556) การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำเป็นปุ๋ยหมักชีวภาพเป็นตัวเลือกหนึ่งในการลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยประโยชน์ของปุ๋ยหมักจะช่วยลดต้นทุนให้แก่เกษตรกร ลดการตกค้างของสารเคมีในแปลงปลูกพืช อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสภาพของดินให้ดีขึ้น โดยจุลินทรีย์จะไปย่อยอินทรีย์วัตถุให้สลายตัวเป็นธาตุอาหารพืชได้เร็วขึ้น ทำให้ดินโปร่ง อุ่นน้ำ และการระบายอากาศได้ดีขึ้น มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทางการเกษตร (สุพจน์และมงคล, 2531) ทั้งนี้มีงานวิจัยหลายชิ้นงานที่นำวัสดุทางการเกษตรได้แก่ ผักตบชวา ฟางข้าว ชังข้าวโพด ต้นกล้วยต่างๆ หญ้าแห้ง เป็นต้น มาเป็นส่วนประกอบในการทำปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้สารเคมี

ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) จัดว่าเป็นวัชพืชชนิดหนึ่ง สามารถพบได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีรายงานการนำธูปฤาษีไปใช้ประโยชน์หลากหลาย ใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เลี้ยงหรือสัตว์เคี้ยวเอื้อง และลำต้นใช้ทำปุ๋ยพืชสดหรือใช้ทำปุ๋ยหมักบำรุงดินได้ (นพพล, 2557)) มีปริมาณธาตุอาหารภายใน ลำต้นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน 2.52 % ฟอสฟอรัส 0.26 % โพแทสเซียม 1.04 % (สุภาพร และพิสุขบุษ, 2535) จากประโยชน์ของธูปฤาษีดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำธูปฤาษีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตร โดยนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักและปุ๋ย

น้ำหมัก เพื่อปรับสภาพโครงสร้างดิน และเพิ่มแร่ธาตุให้กับดินในแปลงผัก อันจะเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรลดการใช้ปุ๋ยเคมี และใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้คุ้มค่า ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งโดยใช้ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี 2 รูปแบบเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี

วิธีดำเนินงานวิจัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 4 ทรีตเมนต์ดังนี้ คือ ไม่ใส่ปุ๋ย (T1 ; ตัวควบคุม) ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) ปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี (T3) และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (T4) ดำเนินงานวิจัย ณ ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยทางการเกษตร (100 ไร่) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ตำบลไชยมงคล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา มีขั้นตอนวิธีการทดลองดังนี้

1. หมักปุ๋ยจากธูปฤาษี มีส่วนผสมในการหมัก คือ ธูปฤาษีสับ : มูลไก่แห้ง : ปุ๋ยยูเรีย : สารเร่งซูเปอร์ พด.1 : และน้ำหมักสารเร่งซูเปอร์ พด.2 (30 กิโลกรัม : 6 กิโลกรัม : 3 กรัม : 50 มิลลิลิตร/น้ำ 1 ลิตร) ใช้ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน (วันชัย, 2557)

2. หมักปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี มีส่วนผสมในการหมัก คือ ธูปฤาษีสับ : กากน้ำตาล : น้ำ : สารเร่ง

3. ซูเปอร์ พด.2 (20 กิโลกรัม : 5 กิโลกรัม : 5 ลิตร : 12.5 กรัม) ใช้ระยะเวลาในการหมัก 90 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

4. เพาะกล้าผักกวางตุ้งเป็นเวลา 20 วัน ก่อนย้ายปลูกลงกระถางพลาสติกขนาด 6 นิ้ว โดยใช้ดินผสม (ดินเกษตรร่วนเือง) ที่มีส่วนผสมของ ดินใบก้ามปู และขุยมะพร้าว รดน้ำทุกวัน อย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง และให้ต่อเนื่องจนถึงระยะเก็บเกี่ยว

5. ใส่ปุ๋ยทุกๆ 7 วัน หลังย้ายกล้าลงกระถาง

ปลูก ใส่ทั้งสิ้นจำนวน 3 ครั้ง โดยใส่ปุ๋ย ดังนี้

5.1 ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี วิธีใช้: โรยรอบโคนต้น หรือระหว่างแถว อัตราส่วน 20 กรัม/กระถาง (อัตราส่วนคำนวณจาก วันชัย, 2557)

5.2 ฉีดพ่นปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษีวิธีใช้: เจือจางน้ำหมักจากมูลสุราษีกับน้ำ แล้วฉีดบนพ่นต้นพืช อัตราส่วน 1 มิลลิลิตร/น้ำ 50 มิลลิลิตร/กระถาง (อัตราส่วนคำนวณจาก กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

5.3 ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 วิธีใช้: โรยบางๆ ระหว่างแถว โดยหลังจากที่ใส่ปุ๋ยควรรืบริดน้ำทันที อัตราส่วน 0.5 กรัม/กระถาง (อัตราแนะนำในการปลูกผักกวางตุ้ง 30 กก./ไร่) เก็บข้อมูลครั้งแรกหลังจากย้ายปลูกครบ 14 วัน และสิ้นสุดที่ 28 วัน โดยเก็บผลทุกๆ 7 วัน หลังการย้ายปลูก ดังนี้คือ วัดความสูงของลำต้น จากโคนต้นจนถึงปลายสูงสุดของยอด วัดขนาดความยาวของใบ วัดขนาดความกว้างของใบ และชั่งน้ำหนักสดเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ เปรียบเทียบโดยการวิเคราะห์ค่าความ

แปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูล แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($P \leq 0.05$) ขึ้นไปและหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้ค่า Duncan Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัย

จากผลการทดลอง การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากมูลสุราษีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกวางตุ้ง ได้ทำการส่งผลวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี เก็บข้อมูล ความสูงของลำต้น ความยาวของใบ ความกว้างของใบ และน้ำหนักสด มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักของกรมวิชาการเกษตร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าวิเคราะห์ของปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี และปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี

รายการวิเคราะห์	ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี	ค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก (กรมวิชาการเกษตร)	ปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี	ค่ามาตรฐานปุ๋ยน้ำหมัก (กรมวิชาการเกษตร)
pH	6.79	5.5-8.5	3.65	≤ 4.0
EC (dS m^{-1})	9.26	≤ 10	24.20	≤ 20
O.M. (%)	37.84	≥ 20	5.94	-
Total N (%)	1.63	≥ 1.0	0.32	≥ 0.5
Total P_2O_5 (%)	2.83	≥ 0.5	0.11	≥ 0.5
Total K_2O (%)	1.40	≥ 0.5	0.98	≥ 0.5
Total Ca (%)	8.76	-	0.26	-
Total Mg (%)	0.53	-	0.09	-

ที่มา : รายงานผลวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี โดยโครงการพัฒนาวิชาการดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2550 และกรมพัฒนาที่ดิน, 2547) พบว่า ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษีมีค่าปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร โดยค่าที่เปรียบเทียบ คือ ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่วนปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษีมีค่าปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าค่ามาตรฐานกรมวิชาการเกษตร ยกเว้นค่าโพแทสเซียม

ผลของการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี ปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง มีผลการทดลองดังตารางที่ 2

ความสูงของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) มีค่าสูงกว่าทุกพรีดเมนต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 32.21 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี (T2) และปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี (T3) ให้ผลไม่แตกต่างกัน โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 27.38 และ 26.51 เซนติเมตรตามลำดับ สำหรับพรีดเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) มีค่าน้อยกว่าทุกพรีดเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 17.10 เซนติเมตร

ความยาวใบของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) กับพรีดเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี (T2) มีความยาวใบไม่แตกต่างกัน โดยมีความยาวใบเฉลี่ย 19.08 และ 17.99 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่การใช้ใส่ปุ๋ยหมัก

จากมูลสุราษี (T2) กับปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี (T3) ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความยาวใบเฉลี่ย 17.99 และ 16.50 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนพรีดเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) มีค่าน้อยกว่าทุกพรีดเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความยาวใบเฉลี่ย 12.82 เซนติเมตร

ความกว้างใบของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) มีค่าสูงกว่าทุกพรีดเมนต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีความกว้างใบเฉลี่ย 12.30 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี (T2) และปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี (T3) ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความกว้างใบเฉลี่ย 10.81 และ 10.30 เซนติเมตรตามลำดับ สำหรับพรีดเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) มีค่าน้อยกว่าทุกพรีดเมนต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความกว้างใบเฉลี่ย 7.12 เซนติเมตร

น้ำหนักสดของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) ให้น้ำหนักสดสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี (T2) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 0.62 และ 0.52 กิโลกรัมตามลำดับ แต่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) ให้น้ำหนักสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) กับการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี (T3) และพรีดเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 0.62, 0.43 และ 0.34 กิโลกรัมตามลำดับ ในขณะที่การใช้ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลสุราษี (T2) กับปุ๋ยน้ำหมักจากมูลสุราษี (T3) ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง

ทรีตเมนต์	ความสูงของลำต้น (ซม.)	ความยาวของใบ (ซม.)	ความกว้างของใบ (ซม.)	น้ำหนักสด (กก.)
ไม่ใส่ปุ๋ย (T1)	17.10c	12.82c	7.12c	0.34c
ปุ๋ยหมัก (T2)	27.38b	17.99ab	10.81b	0.52ab
ปุ๋ยน้ำหมัก (T3)	26.51b	16.50b	10.30b	0.43bc
ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (T4)	32.21a	19.08a	12.30a	0.62a
C.V. (%)	22.54	16.27	20.26	25.83
F-Test	*	*	*	*

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการนำธาตุอาหารมาทำเป็นปุ๋ยหมัก และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี 46-0-0 และไม่ใส่ปุ๋ย (ตัวควบคุม) ทดลองกับผักกวางตุ้ง พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักจากธาตุพืช และปุ๋ยน้ำหมักจากธาตุพืช มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง โดยปุ๋ยหมักจากธาตุพืช ให้ความสูงของลำต้นเฉลี่ย คือ 27.38 เซนติเมตร มากกว่าปุ๋ยน้ำหมักจากธาตุพืช คือ 26.51 เซนติเมตร ทั้งปุ๋ยหมักจากธาตุพืช และปุ๋ยน้ำหมักจากธาตุพืชมีความสูงเฉลี่ยมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย (ตัวควบคุม) ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 17.10 เซนติเมตร แต่น้อยกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 คือ 32.21 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สายชล (2555) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี ต่อการผลิตผักบุ้งจีน พบว่า แปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยเคมี มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยเคมี โดยทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลวัว มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด

ส่วนงานวิจัยของ กษพรณ (2557) ได้เปรียบเทียบสูตรปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจำนวน 7 สูตร พบว่าสูตรปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมในการผลิตผักคะน้า และผักกวางตุ้ง คือสูตรที่ 1 ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก (เศษผัก : กากน้ำตาล = 3 : 1) โดยคะน้ามีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงของลำต้นของคะน้าเฉลี่ยครั้งสุดท้ายดีที่สุด คือ 17.63 เซนติเมตร และผักกวางตุ้ง คือ 16.93 เซนติเมตร ส่วนผักคะน้าและผักกวางตุ้งที่ไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 7 (Control: น้ำตาล) มีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงของลำต้นของคะน้าเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ โดยในการทดลองใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากธาตุพืชกับผักกวางตุ้งที่มีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงของลำต้นเฉลี่ย คือ 26.51 เซนติเมตร ให้ผลสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย (ตัวควบคุม) คือ 17.10 เซนติเมตร ในขณะที่วิจัยของ สุภาพร (2558) ได้ทำการศึกษาการทำปุ๋ยหมักและวัสดุปลูกจากวัชพืชน้ำและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ผลการทดลอง

พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตด้านความสูง จำนวนใบ และความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางใบ ของสิ่งทดลองต่างๆ เมื่ออายุ 40 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า การใช้ปุ๋ยหมักจากวัชพืชน้ำ + ซีเถ้าแกลบ (T5) ในอัตราส่วน 15% สิ่งทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของ T5 ซึ่งมีทั้งธาตุอาหารหลักและรองที่มีความเหมาะสม

สรุปผลการทดลอง

การใช้ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ให้ผลการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกวางตุ้งดีที่สุด ในขณะที่ปุ๋ยหมักจากรูปลาซีทั้ง 2 รูปแบบ สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่ปุ๋ย โดยปุ๋ยหมักจากรูปลาซีส่งผลต่อความสูง ความยาวใบ ความกว้างใบ และน้ำหนักสด ไม่แตกต่างจากปุ๋ยน้ำหมัก ทั้งนี้การใช้ปุ๋ยหมักจากรูปลาซีให้ผลเทียบเท่าปุ๋ยเคมีในด้านความยาวใบ และน้ำหนักสด

เอกสารอ้างอิง

กษพรณ วงค์เจริญ. (2557). การศึกษาปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในการผลิตผักปลอดสารพิษ จังหวัดกาฬสินธุ์. คณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2550). การผลิตปุ๋ยน้ำอินทรีย์โดยใช้สารเร่ง พด.2. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตร และสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

นพพล เกตุประสาท. รูปลาซี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/index.php/linkwee d/88-> (สืบค้นเมื่อ 28 เมษายน 2560)

วันชัย วงษา. (2557). การทำปุ๋ยหมักและใช้ประโยชน์จากผักตบชวา. สถานีพัฒนาที่ดินสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี.

วัลยาพร จันตรี. (2556). ปัญหาการใช้สารเคมีในการทำ เกษตรกรรม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://sd-group1.blogspot.com/2013/01/53242520.html> (สืบค้นเมื่อ 28 เมษายน 2560).

สายชล พรหมอยู่. (2555). ผลของการใช้ปุ๋ยมูลวัวปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี ต่อการผลิตผักกวางตุ้ง. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. นนทบุรี.

สุพจน์ ชัยวิมล และมงคล จันทรเพ็ญ. (2531). ปุ๋ยหมัก. เอกสารคำแนะนำที่ 78. กรมส่งเสริมการเกษตร.

สุภาพร จันรุ่งเรือง และพิสบุษย์ จัตุวาพรวนิช. (2535). ศึกษาศักยภาพการใช้รูปลาซีในการบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์รวมสามเสน, กรุงเทพฯ.

สุภาพร บัวชุม. 2558. การทำปุ๋ยหมักและวัสดุปลูกจากวัชพืชน้ำและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรใน พื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรเกษตรเขตร้อน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.