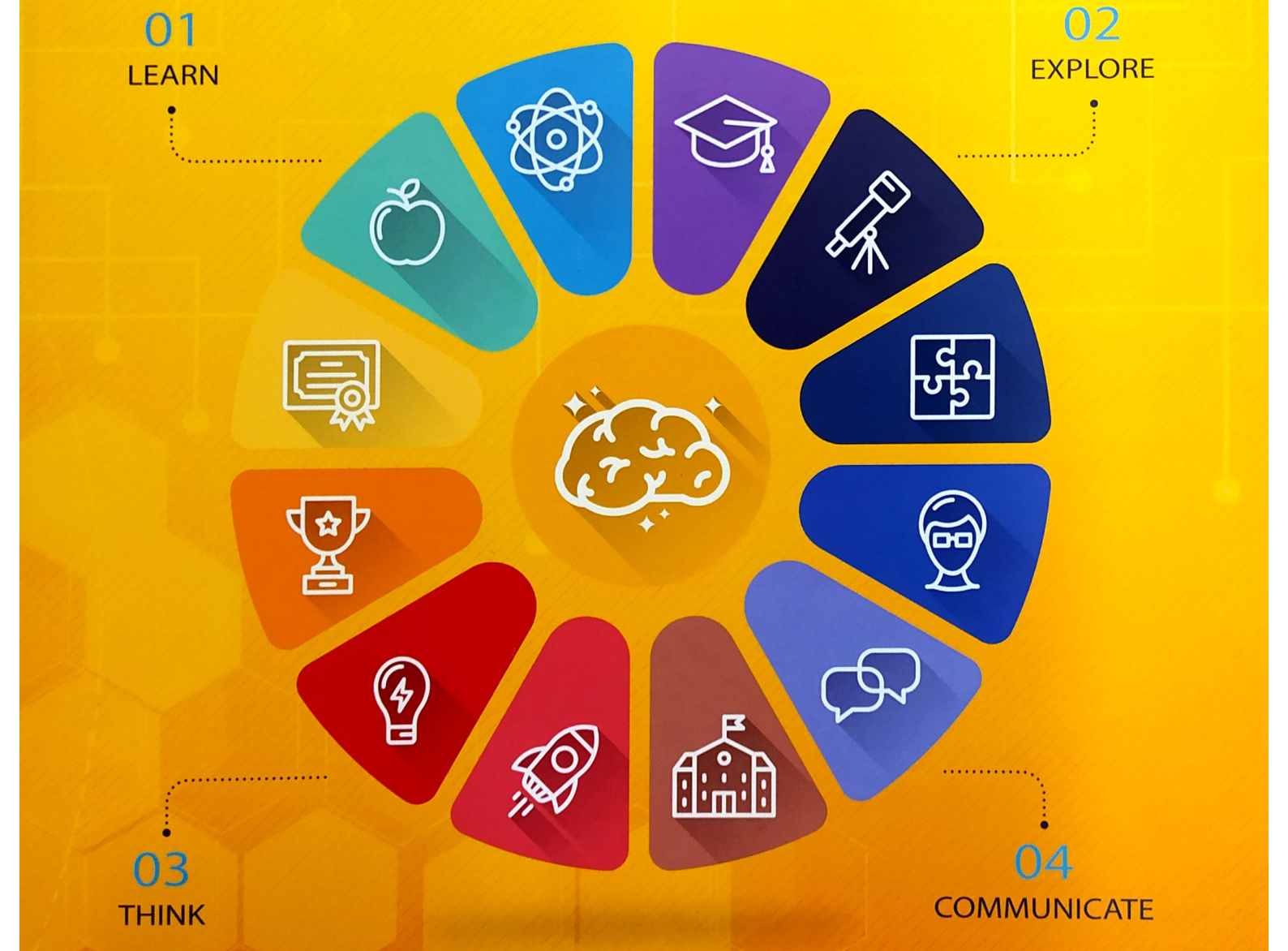
วารสารวิจัย

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)



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

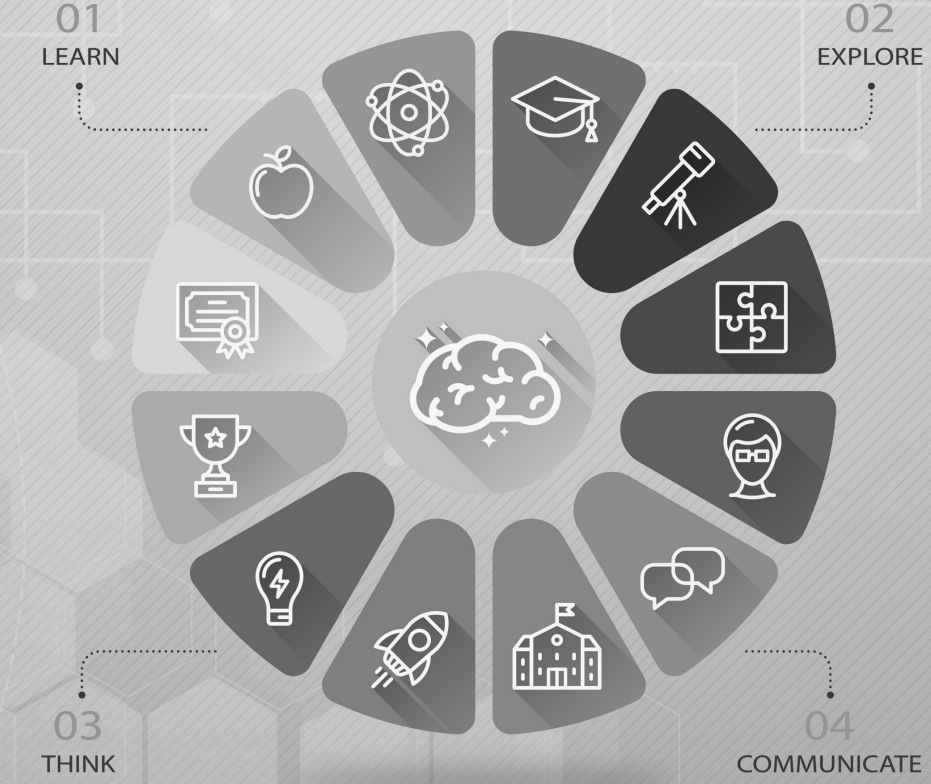
วารสารวิจัย

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)



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางการถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยี และการวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระตุ้นการวิจัยและการพัฒนา การเรียนการสอนเพื่อเพิ่มจำนวนผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิทยาศาสตร์ และเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างนักวิทยาศาสตร์

ขอบเขตบทความวิจัย

วารสารนี้รับผลงานทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับในรูปบทความวิจัย บทความวิจัยสื่อสารอย่างสั้น และบทความวิชาการปริทรรศน์ สามารถส่งได้ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีขอบเขตบทความวิจัยที่สามารถลงตีพิมพ์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์กายภาพและชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์เพื่อสังคมและชุมชน

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 ผ่อยพิกุล	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ. ดร.พิเศษ ตู้กลาง	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ดร.ดวงธิดา โคตรโยธา	คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

บรรณาธิการ

ผศ. น.สพ.ประยุทธ กุศลรัตน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

รองบรรณาธิการ

ผศ. ดร.จิราวรรณ อุ่นเมตตาอารี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางสาวเอลิสา อุปวานิช
นางสาวพิชชานันท์ ศรีหมื่นไวย

กองบรรณาธิการ

ผศ.ดร.รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.จิตรา สิงห์ทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ. ดร.บุษกร ทองใบ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ. ดร.พวงผกา แก้วกรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
รศ. ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร.สภาพร ชื่นชูจิตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผศ.ทิพวัลย์ แสนคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผศ. ดร.วิริยา ลุ้งใหญ่	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ. ดร. น.สพ.ภคนิจ คุปพิทยานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ. ดร.ทรงกต ทศานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.นิติ เอี่ยมชื่น	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.วิภพ แพงวังทอง	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผศ. ดร.จิระเดช มาจันแดง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ. ดร.วันชัย บุญรอด	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ. ดร.อภิวันท์ มนิมนากร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผศ. ดร.นิรันดร์ คงฤทธิ์
ผศ. ดร.ธราพงษ์ เพ็ชรประยูร
ดร.มะลิวัลย์ สืบศาสนา
ดร.มณฑล วิสุทธิ
ดร.วัชรพงษ์ วงค์เขียว
ดร.ปรีติวัฒน์ วรรณปุษปวิช
ดร.ชิน ฮั่ว
ดร.วรฤทธิ์ กอปรสิริพัฒน์
ดร.ดวงสุดา โชคเฉลิมวงศ์
ดร.สิริกร กรมโพธิ์
อาจารย์รัชนีกร มูลปา
อาจารย์อมรชัย ใจซื่อกุล
อาจารย์สุระ วรรณแสง
นายยุทธนา ตอสกุล

บทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ซึ่งไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ และมิใช่ความรับผิดชอบของคณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

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 ส่งบทความที่ดีมีประโยชน์เผยแพร่ต่อสาธารณชนในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางวิชาการและการพัฒนาต่อยอดต่อไป หากท่านใดประสงค์ที่จะเป็นสมาชิกสามารถสมัครได้ตามระเบียบการตีพิมพ์แนบท้ายวารสารนี้และเว็บไซต์https://sciencetech.nrru.ac.th/journal

สารบัญ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท 01
Development of Low Fat Pasteurized Milk Supplemented with Whey Protein Hydrolysate
ชมภูนุช ฆ้องลา สุมาลี มุสิกา กุ้งนาง ตะมะรวย ชนิดา กุประดิษฐ์ อารยา รานอก*
และเสกสรร มังคลานันท์[1]
วิศรุธ มิลจันทึก ชิตณรงค์ ถาพินนา และนันทวุฒิ แสนตุ้มทอง[2]

การบูรณาการคุณภาพและความมั่นคงปลอดภัยเข้ากับการพัฒนาซอฟต์แวร์ 10
An Integration of Quality and Security with SDLC
ฑกลชัย อุตตรนที [1]

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วย วิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี 17
Determination of Nitrite and Nitrate in gunshot residues by Spectrophotometric method
นิสา การเพียร[1] พัชริดา ยุทธกล้า[1]
รัชนีกร ใจบุญ[1] ปรรัตน์ คุภมิตรโยธิน[2]

ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ 31
Instant microwave riceberry cakes
พัชรี เปรมกระโทก[1] วรรณฤดี ทองจุลกลาง[1]
อารีรัตน์ ริมใหม่[2] ธนากร เปลื้องกลาง[1]

การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง 40
Comparing the formulation of Typha angustifolia compost on the growth and
yield of Chinese cabbage
ภิรมณ แสงมณี[1] สุริยุ เสนาอินทร์[1]
ชมัยพร เจริญพร[2]

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท
Development of Low Fat Pasteurized Milk Supplemented with Whey Protein Hydrolysate

ชมภูนุช ฆ้องลา สุมาลี มุสิกา กุ้งนาง ตะมะรวย ชนิดา กุประดิษฐ์*
อารยา ราบอก และเสกสรร มังคลานันท์[1]
วิศรุธ มิลจันทึก ชิตณรงค์ ถาพินนา และนันทวุฒิ แสนตุ้มทอง[2]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงต่อคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ส่วนประกอบทางเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย โดยเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radical scavenging activity ผลการวิจัยพบว่า นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีปริมาณเปปไทด์ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.61±0.23 มิลลิกรัมสมมูลของลิวซีนต่อมิลลิลิตร และ 1.98±0.07 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีปริมาณโปรตีนสูงสุด ในขณะที่นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63% มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด มีค่าเท่ากับ 7.80±0.62 เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และการทดสอบประสาทสัมผัส ความเข้มข้นที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่เติมในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย คือ 0.63% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เท่ากับ 1.34 ± 0.07 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท (0.57 ± 0.03 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร) ผลการวิจัยนี้บ่งชี้ได้ว่าเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีศักยภาพในการเสริมฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย

คำสำคัญ: เวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางเคมี นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย

1 สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

บทนำ

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

เวย์ (whey) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเนยแข็ง เวย์โปรตีนเป็นโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง และ มีกรดอะมิโนชนิด 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) ซึ่งเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทนี้สายของโปรตีนขนาดยาวจะถูกย่อยให้เป็นสายเปปไทด์ขนาดสั้นๆทำให้สามารถดูดซึมได้ง่าย ลดโอกาสในการแพ้ (อรวรรณ ภู่ชัยวัฒนานนท์ และสุรัสวดี สมนึก, 2556; ธนกร ศิริสมุทร, 2558) นอกจากนี้ มีรายงานว่าเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (สุรพงษ์ พินิจกลาง และรัชนี ไสยประจง, 2556; Peng et al., 2009) ดังนั้น หากนำเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมาใช้เป็นส่วนผสมในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย นอกจากจะเป็นการเสริมคุณค่าทางโภชนาการในนม ยังช่วยเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

อนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ มากมาย เช่น มะเร็ง (Goodman et al., 2011) หัวใจ (Sugamura and Keaney, 2011) และโรคอัลไซเมอร์ (Butterfield et al., 2002) เป็นต้น อนุมูลอิสระเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาในร่างกาย และมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกร่างกาย เช่น การติดเชื้อ รังสี สารเคมี ยา ควันเสีย เขม่าจากเครื่องยนต์ ควันบุหรี่ อาหารย่าง และอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นต้น ปกติร่างกายของคนเรามีสารต้านอนุมูลอิสระทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ เนื้อเยื่อ และอวัยวะจากการทำลายโดยอนุมูลอิสระ (Samaranayaka and Li-Chan, 2011) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อร่างกายได้รับอนุมูลอิสระมากเกินไปหรือระบบต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกายเสื่อมลง ทำให้อนุมูลอิสระเป็นปัญหาต่อสุขภาพได้

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อผลิตนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทสำหรับพัฒนาเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ และศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การผลิตเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผง

ผลิตเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงตามวิธีของวิศรุธ 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

เสทไปทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Lyophilization) เก็บตัวอย่างเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ไว้สำหรับการทดลองต่อไป

2. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่เติมในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยนำเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงมาเติมในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย ความเข้มข้น 0.00-2.38% เลือกใช้ความเข้มข้น 2.38% เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้ หลังการให้ความร้อนมีตะกอนเกิดขึ้น โดยอุ่นน้ำนมที่อุณหภูมิ 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 คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ องค์ประกอบทางเคมี และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

3. การวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

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

3.2 วิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์

วิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์ของนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% โดยวิธี Trinitrobenzene sulfonic Acid (TNBS) (Adler-Nissen, 1979) โดยปิเปตต์ตัวอย่างส่วนใส ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.2125 โมลาร์ pH 8.2 ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติมสารละลาย TNBS ความเข้มข้น 0.005% ปริมาตร 500 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 ไมโครลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา ทิ้งไว้อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที และนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ปริมาณเปปไทด์แสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของลิวซีนต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (mg Leucine Eq./ml Sample)

3.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS

วิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% ตามวิธีของ Wiriyaphan 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

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

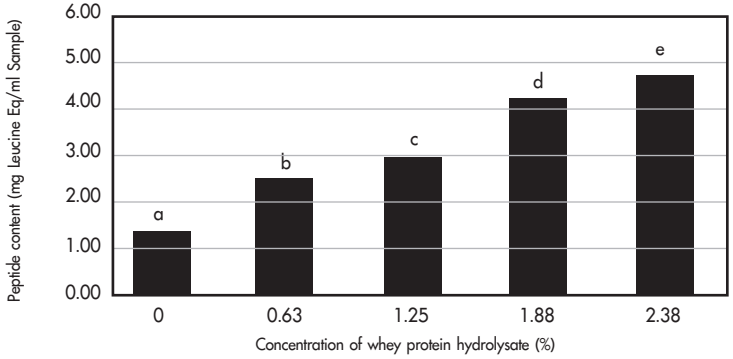
6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ปริมาณเปปไทด์

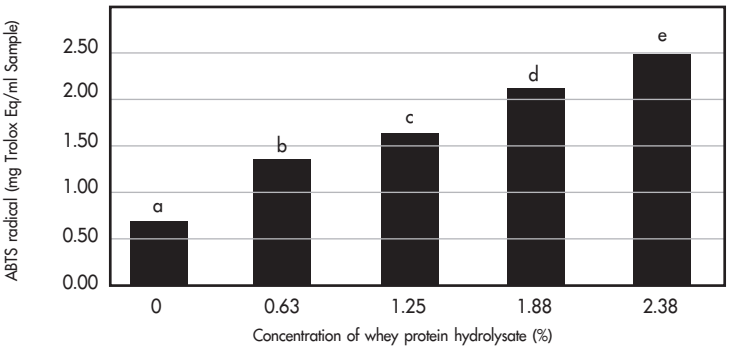
เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่เติมลงในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย โดยเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.00, 0.63 , 1.25, 1.88 และ 2.38% พบว่า ปริมาณเปปไทด์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติม (รูปที่ 1, $p \leq 0.05$) นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยสูตรที่ไม่เติมเวย์ไฮโดรไลเสทมีปริมาณเปปไทด์เท่ากับ 1.39±0.09 มิลลิกรัมสมมูลของลิวซีนต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (mg Leucine Eq./ml Sample) ส่วนนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์ไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีปริมาณเปปไทด์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.61±0.23 mg Leucine Eq./ml Sample ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3.3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติม วิศรุธ มิลจันทึก และคณะ (2559) รายงานว่าปริมาณเปปไทด์ในผลิตภัณฑ์นมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีค่าเท่ากับ 3.42±0.11 mg Leucine Eq./ml Sample จะเห็นได้ว่านมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีปริมาณเปปไทด์สูงกว่านมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท ทั้งนี้เนื่องจากนมสเตอริไลส์ผ่านการให้ความร้อนสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์ ส่งผลให้โปรตีน และเปปไทด์บางส่วนเสียสภาพธรรมชาติ จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสททำให้ปริมาณเปปไทด์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 ปริมาณเปปไทด์ในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 0.00-2.38%
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ABTS

จากการศึกษาความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย โดยเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ระดับความเข้มข้น 0.00-2.38% และวิเคราะห์คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ พบว่า ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของนมพาสเจอร์ไรส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติม (รูปที่ 2 , $p \leq 0.05$) นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยสูตรที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เท่ากับ 0.57±0.03 มิลลิกรัมสมมูลของโทรอกซ์ต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (mg Trolox Eq./ml Sample) ส่วนการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงที่ความเข้มข้น 2.38% มีความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ ABTS สูงสุด มีค่าเท่ากับ 1.98±0.07 mg Trolox Eq./ml Sample ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติม ผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มีความสอดคล้องกับปริมาณเปปไทด์ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 1) วิศรุธ มิลจันทึก และคณะ (2559) รายงานว่าความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ ABTS ในผลิตภัณฑ์นมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 2.38% มีค่าเท่ากับ 1.56±0.06 mg Trolox Eq./ml Sample จะเห็นได้ว่านมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่านมสเตอริไลส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทนอกจากเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์แล้ว ยังเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย



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

3. องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท

จากผลการทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท ที่ระดับความเข้มข้น 0.00- 2.38% พบว่า เมื่อความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น และไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า (ตารางที่ 1) การที่ความชื้นลดลงเนื่องมาจากปริมาณของแข็งในนมพาสเจอร์ไรส์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีค่าความชื้น โปรตีน และเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าความชื้นเท่ากับ 85.29±0.30 และ 85.07±0.27% มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 4.76±0.13 และ 4.70±0.03% และปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.95±0.03 และ 0.95±0.02% ตามลำดับ การที่ปริมาณโปรตีนในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีค่าไม่แตกต่างกัน และมีค่าสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์ที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทเล็กน้อยเนื่องจากเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำและเสียสภาพธรรมชาติง่ายเมื่อโดนความร้อนทำให้โปรตีนบางส่วนตกตะกอนและถูกกรองออกไปในขั้นตอนการทำนมพาสเจอร์ไรส์ ดังนั้นงานวิจัยนี้บ่งชี้ได้ว่าปริมาณสูงสุดของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่เติมในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ไม่ควรเกิน 1.88% ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทผงนอกจากจะเสริมคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยแล้วยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในนมพาสเจอไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้นต่างๆ

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. ผลการการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.00-2.38% พบว่า ความเข้มข้นของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทไม่มีผลต่อความชอบของผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นรส และความขม (ตารางที่ 2, $p>0.05$) ส่วนด้านรสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่าผู้บริโภคจะชอบนมพาสเจอร์ไรส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ระดับความเข้มข้น 0.63% มากที่สุด ($p\leq0.05$) มีคะแนนความชอบเท่ากับ 7.60±1.05 และ 7.80±0.62 ตามลำดับ ซึ่งมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบมาก ส่วนด้านสี พบว่าผู้บริโภคชอบที่ระดับความเข้มข้นเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63% มากกว่านมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท และที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% แต่ไม่มีความแตกต่างกับความเข้มข้นที่ 1.25% ด้านความเป็นเนื้อเดียวกันผู้บริโภคชอบนมพาสเจอร์ไรส์สูตรที่เติมเวย์ไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63-2.38% ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ชอบสูตรเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63 และ 1.25% มากกว่าสูตรที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรเสท การที่ผู้ประเมินชอบนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยสูตรที่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63% รสชาติ ความเป็นเนื้อเดียวกัน และความชอบโดยรวมมากกว่าสูตรควบคุมอาจเนื่องมาจากการเติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทมีผลในการเพิ่มเนื้อสัมผัสในปาก (mouth feel) รวมทั้งรสชาติที่กลมกล่อมเวลาดื่ม

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้นต่างๆ

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 ($p\leq0.05$) 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 นมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 1.88 และ 2.38% มีปริมาณโปรตีนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.76±0.13 และ 4.70±0.03% ตามลำดับ ในขณะที่นมพาสเจอร์ไรส์เสริมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่ความเข้มข้น 0.63% เป็นสูตรที่ผู้ประเมินชอบมากที่สุด มีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.80±0.62 เป็นคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบมาก ดังนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งปริมาณเปปไทด์ คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และความชอบด้านประสาทสัมผัส สรุปได้ว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสทที่เติมในนมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนย คือ 0.63% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เท่ากับ 1.34 ± 0.07 mg Trolox Eq./ml Sample ซึ่งมีค่าสูงกว่านมพาสเจอร์ไรส์พร่องมันเนยที่ไม่เติมเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสท (0.57 ± 0.03 Trolox Eq./ml Sample)

กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่เอื้ออำนวยอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ธนกร ศิริสมุทร. (2558). คุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ทางการแพทย์ของเวย์โปรตีน. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ. 10(2): 75-80. [On-line]. Available: http://ejournals.swu.ac.th/index.php/ pharm/article/viewFile/5349/5027

วิศรุธ มิลจันทึก ชิตณรงค์ ถาพินนา นันทวุฒิ แสนตุ้มทอง ชมภูนุช ฆ้องลา สุมาลี มุสิกา และกุ้งนาง ตะมะรวย. (2559).การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มสเตอริไลส์พร่องมันเนยเสริมเวย์โปรตีน ไฮโดรไลเสท. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. 1(2): 37-44.

สุรพงษ์ พินิจกลาง และรัชนี ไสยประจง. (2556). การตรวจวัดปริมาณแอคติวิตีสารลดความดันโลหิตและสารต้านอนุมูลอิสระของไบโอแอคทีฟเพปไทด์จากเวย์โปรตีนไอโซเลทไฮโดรไลเซท. สาขาวิชาการจัดการธุรกิจอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 44: 393-396.

อรวรรณ ภู่ชัยวัฒนานนท์ 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 trinitrobenzenesul fonic acid. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 27: 1256-1262.

AOAC. (2000). Official methods of analysis 17thedition. Gaithersberg, 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.

Wiriyaphan, C., Chitsomboon, B., and Yongsawadigul, J. (2012). Antioxidant activity of protein hydrolysates derived from threadfin bream surimi byproducts. Food Chemistry. 132: 104–111.

การบูรณาการคุณภาพและความมั่นคงปลอดภัยเข้ากับการพัฒนาซอฟต์แวร์
An Integration of Quality and Security with SDLC

ทกลชัย อุตตรนที [1]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันภัยคุกคามต่อความมั่นคงปลอดภัยของระบบสารสนเทศที่มุ่งโจมตีระบบงานและข้อมูล โดยอาศัยช่องโหว่ของซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาและติดตั้งใช้งานในระบบสารสนเทศของหน่วยงานต่างๆ มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากความจำเป็นของระบบงานที่ต้องเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตมีเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการใช้งานของผู้ใช้ การพัฒนาซอฟต์แวร์ให้มีช่องโหว่หรือจุดอ่อนที่จะเป็นเป้าการโจมตีให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลยหากสามารถทำได้ 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
ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ ธนาคารอาคารสงเคราะห์ กรุงเทพมหานคร 10310

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
   - บุกรุก โจมตี ขัดขวาง การทำงานของระบบเครือข่าย ระบบงาน และบริการต่างๆ
   - โจรกรรม เปลี่ยนแปลง ข้อมูล ข่าวสาร สำคัญ
   - เข้าถึง ใช้งาน ยึดครอง หยิบยืม ทรัพยากรระบบโดยไม่มีสิทธิ

2. ทำให้ซอฟต์แวร์ไม่ทำในสิ่งที่ได้รับการออกแบบมา ได้แก่
   - หยุด ชะงัก หรือชะลอ การทำงานของระบบ หรือบริการต่างๆ
   - แสดงผล รายงาน ผิดพลาด หรือดัดแปลงให้เกิดความเข้าใจผิด
   - คำนวณ ประมวลผล ผิดพลาด หรือดัดแปลงผลลัพธ์
   - ลดประสิทธิภาพในการทำงานลง หรือใช้งานทรัพยากรระบบเกินกว่าความต้องการ

ซึ่งผลกระทบดังกล่าวขัดต่อลักษณะสองประการของซอฟต์แวร์ที่มีคุณภาพควรจะมีตามความคาดหมายของผู้ใช้งาน คือ จะต้องทำแต่สิ่งที่ถูกต้อง และต้องทำได้ถูกต้องในสิ่งที่ทำ (จารึก ชูกิตติกุล, 2548)

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

การจัดการกับภัยต่างๆ ดังกล่าวมักกระทำในภายหลังจากที่เกิดเหตุการณ์ขึ้นแล้ว หรือเมื่อมีการตรวจพบช่องโหว่ในภายหลังจากที่ได้มีการพัฒนา หรือผลิตซอฟต์แวร์ขึ้นมาใช้งานแล้วเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อความเสียหาย

ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการใช้งานซอฟต์แวร์ดังกล่าว

ดังนั้น วิธีที่ดีที่สุดในการจัดการปัญหาภัยคุกคามที่อาศัยช่องโหว่ของซอฟต์แวร์ คือ การพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีช่องโหว่ หรือจุดอ่อนด้านความปลอดภัยให้น้อยที่สุด หรือไม่มีเลยถ้าเป็นไปได้ หมายถึงการออกแบบให้ซอฟต์แวร์มีความมั่นคงปลอดภัยตั้งแต่เริ่มพัฒนา ซึ่งหากพิจารณาถึงข้อเท็จจริงที่ว่าช่องโหว่ หรือจุดอ่อนดังกล่าวเป็นข้อบกพร่อง (Defects) หรือข้อผิดพลาด (Faults) หนึ่งภายในกระบวนการพัฒนาหรือผลิตซอฟต์แวร์ เราย่อมสามารถนำวิธีการลดข้อผิดพลาดตามระเบียบวิธีการทางคุณภาพ (Quality Methodology) มาใช้ควบคู่กับระเบียบวิธีการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Methodology) เพื่อช่วยลดช่องโหว่ หรือจุดอ่อนด้านความปลอดภัยของซอฟต์แวร์ลงได้เช่นเดียวกับการลดข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม (Industrial Process) ได้ ซึ่งเป็นแนวคิดที่แย้งกับข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในวงการความมั่นคงปลอดภัยของซอฟต์แวร์ที่ได้เคยแสดงความเห็นว่าความมั่นคงปลอดภัยไม่ใช่คุณสมบัติที่แสดงถึงคุณภาพของซอฟต์แวร์ (Grembi, 2008) ทำให้ไม่เคยมีการนำเสนอแนวคิดในการนำระเบียบวิธีทางคุณภาพมาใช้ควบคู่กับระเบียบวิธีทางความมั่นคงปลอดภัยของซอฟต์แวร์เลย

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

ตารางที่ 1 การบูรณาการวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า) 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

จะพบว่าเมื่อมีการบูรณาการวิธีการทางซิกซ์ซิกม่าเพื่อความมั่นคงปลอดภัยเข้ากับวัฏจักรของการพัฒนาซอฟต์แวร์แล้วในแต่ละขั้นตอนจะมีกิจกรรมทางความมั่นคงปลอดภัยที่ต้องทำเพิ่มขึ้นดังนี้

ขั้นตอนการจัดทำข้อกำหนด (Define Phase)

เป็นการจัดทำความต้องการทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสำหรับระบบที่จะทำการพัฒนาโดยทำการศึกษา 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) ในกรณีที่เป็นการพัฒนาระบบด้วยวิธีการเชิงวัตถุ (Object Oriented Methodology) ซึ่งจะมีการจัดทำ Use Cases ในขั้นตอนของการจัดทำความต้องการระบบ จำเป็นที่จะต้องออกแบบและจัดทำ Abuse Cases คือ ปฏิสัมพันธ์ที่ส่งผลให้เกิดความรบกวนหรือผลที่ไม่พึงประสงค์ต่อระบบ ต่อผู้ใช้งานระบบ หรือต่อเจ้าของระบบ ควบคู่ไปด้วย

หลังจากระบบถูกออกแบบแล้วจะต้องทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศของระบบดังกล่าวด้วยเครื่องมือต่างๆ เพื่อหาช่องโหว่หรือจุดอ่อนในการออกแบบนั้น เครื่องมือที่เป็นที่นิยม เช่น COSO/COBIT Security Administration Control Objective Risk Matrix ซึ่งจะมีการกำหนดคะแนนของช่องโหว่ที่อาจเกิด และระดับความรุนแรงของผลกระทบหรือ Threat Modeling ที่จะช่วยตรวจประเมินและรายงานความเสี่ยงทางด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบที่ออกแบบ หรือ Design Review ซึ่งเป็นการทบทวนแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นตอนของการวัดผล (Measure Phase)

เป็นการตรวจวัดเพื่อหาช่องโหว่ หรือจุดอ่อนในระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาตามแบบที่ทำตามข้อกำหนดความต้องการทางด้านความมั่นคงสารสนเทศแล้ว สามารถทำได้ทั้งในระหว่างการพัฒนา และภายหลังจากที่พัฒนาเสร็จแล้ว โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ ได้แก่ การทบทวนชุดคำสั่งที่เขียน (Code Review) แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่แบบอัตโนมัติ 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 แต่รวมถึงระบบปฏิบัติการณ์ (Operating System) โครงสร้างทางสถาปัตยกรรม (IT Architecture and Infrastructures) ที่ระบบจะถูกนำไปติดตั้งใช้งาน เช่น ฮาร์ดแวร์ ระบบเครือข่าย (Network) และระบบงานสนับสนุนต่างๆ เช่น ระบบฐานข้อมูล (Database) ระบบอินเตอร์เน็ต (Internet) เครื่องแม่ข่ายให้

บริการเว็บ (Web Server) อีกด้วย โดยปกติมักจะให้หน่วยงานภายนอกเป็นผู้ทำการทดสอบการบุกรุก

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

เมื่อมีการติดตั้งใช้งานระบบในกระบวนการทำงานจริง จะทำให้สามารถเห็นถึงปัญหาที่อาจจะไม่พบในขั้นตอนของการตรวจวัดผล เนื่องจากข้อมูลที่เกิดขึ้น และพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ที่แตกต่างกันระหว่างการใช้งานระบบจริงกับการทดสอบระบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางในการป้องกันแก้ไข เครื่องมือที่จำเป็นในขั้นตอนนี้ ได้แก่ การทบทวนการปฏิบัติงาน (Operation Reviews) รายงานเหตุการณ์ที่เกิดรูโหว่ หรือจุดอ่อน (Incidents Report) และการจัดเรียงลำดับความสำคัญของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (Incident Prioritize) นอกจากนั้นจะต้องมีการเตรียมการจัดการรับมือกับปัญหาเหตุการณ์ความมั่นคงปลอดภัยทางสารสนเทศที่เกิดขึ้นในการใช้งานระบบอย่างทันท่วงที เพื่อลดความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นทั้งต่อระบบ ต่อผู้ใช้งาน หรือต่อองค์กร โดยเครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ ทีมงานโต้ตอบเหตุการณ์ (Incident Response Team) และแนวทางการปฏิบัติเมื่อเกิดเหตุ (Incident Response Guideline)

ขั้นตอนของการปรับปรุง (Improve Phase)

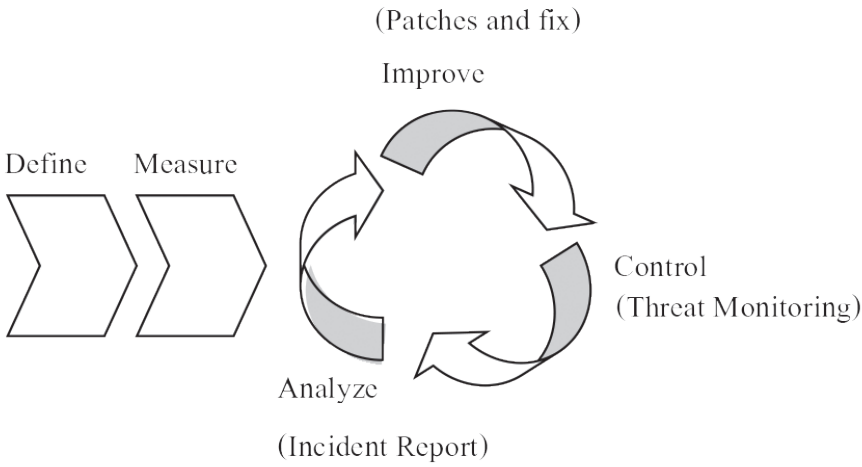
เมื่อวิเคราะห์พบสาเหตุ และแนวทางในการแก้ไข ขั้นตอนต่อไปได้แก่การพัฒนาแก้ไขระบบ (Patches and Fix) เพื่ออุดช่องโหว่ หรือกำจัดจุดอ่อนที่พบ ความสำคัญของขั้นตอนนี้อยู่ที่ระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนาเพื่อแก้ไขและปรับปรุงซอฟต์แวร์ควรจะน้อยที่สุดเพื่อลดความเสี่ยงต่อการถูกคุกคาม

ขั้นตอนของการควบคุม (Control Phase)

เป็นการควบคุมเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดช่องโหว่ หรือจุดอ่อนในระบบขึ้นมาได้อีก เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ การเฝ้าระวังภัยคุกคาม (Threat Monitoring) การสร้างคามตระหนักรู้แก่ผู้ใช้งาน (User Awareness) และการอบรมทางด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security Training) ของทีมงานโต้ตอบเหตุการณ์และนักพัฒนา รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ทั้งหมด

โมเดลดีมาอิกเพื่อความมั่นคงปลอดภัย (DEMAIC Model for Security)

เนื่องจากปัจจุบันมีภัยคุกคามใหม่ๆต่อความมั่นคงปลอดภัยทางสารสนเทศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น ไวรัสโทรจัน (Trojans Virus) ชนิดใหม่ๆ รวมถึงนักเจาะระบบ (Hacker) รุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความง่ายในการเข้าถึงข้อมูลการเจาะระบบที่มีการเผยแพร่บนอินเตอร์เน็ตและเป็นที่รับรู้ในวงการนักเจาะระบบ ดังนั้นสามขั้นตอนในโมเดลดีมาอิก ได้แก่ การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม จึงต้องทำอย่างต่อเนื่องอยู่เสมอตราบเท่าที่ยังมีการใช้งานระบบงาน และซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมานั้นอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดง DMAIC Model for Security ที่บทความนำเสนอ

วิธีการทางคุณภาพมาใช้เพื่อสร้างความมั่นคงปลอดภัยให้แก่กระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้และหวังว่าจะมีผู้ที่มีแนวคิดเดียวกันนำเสนอผลงานให้แพร่หลายต่อไป

สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการบูรณาการระเบียบวิธีการด้านความมั่นคงปลอดภัย และวิธีการด้านคุณภาพโดยใช้ขั้นตอนดีมาอิก (DMAIC) ของซิกซ์ซิกม่าเข้ากับ วัฏจักรการพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อลดจำนวนช่องโหว่และจุดอ่อนภายในซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณาว่าช่องโหว่หรือจุดอ่อนต่างๆ ที่มีเป็นความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อน (Errors) จากมาตรฐานในกระบวนการผลิตซอฟต์แวร์ที่สามารถถูกแก้ไขได้ด้วยการควบคุมคุณภาพการพัฒนาซอฟต์แวร์ ในลักษณะเดียวกันกับการควบคุมคุณภาพการผลิต เพื่อลดข้อบกพร่อง (Defects) ในกระบวนการผลิต

เอกสารอ้างอิง

จารึก ชูกิตติกุล. (2547). เทคโนโลยีสารสนเทศคุณภาพ : ปรัชญา สาระ และวิทยานิพนธ์. คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีชั้นสูง. ฉบับที่ 8 เดือนตุลาคม 2548. หน้า 4.

ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์. (2551). การวิเคราะห์และออกแบบระบบ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 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.+

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

พัชรี เปรมกระโทก[1] วรรณฤดี ทองจุลกลาง[1]
อารีรัตน์ ริมใหม่[2] ธนากร เปลื้องกลาง[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) พร้อมกันในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วยวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี เพราะเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ไนไตรท์และไนเตรทได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ อีกทั้งยังมีความถูกต้อง แม่นยำ และความไวสูง โดยทำการศึกษาปฏิกิริยาของไนไตรท์กับสารละลาย Griess และประสิทธิภาพการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ด้วยสังกะสี พบว่าปฏิกิริยาการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์สมบูรณ์ที่สุดเกิดขึ้นโดยทันที (0 วินาที) เมื่อเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และสังกะสีปริมาณ 0.13 กรัม ตามลำดับ และมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดไนไตรท์เท่ากับ 0.41 ไมโครโมลาร์ นอกจากนี้การวิเคราะห์ร้อยละคืนกลับของไนไตรท์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.34 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอมีความถูกต้อง ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างที่บริเวณเป้ายิง ณ ระยะยิง 2 นิ้ว และระยะเวลาภายหลังการยิง 6 ชั่วโมง ปรากฏว่าพบปริมาณไนเตรทในตัวอย่างมากกว่าปริมาณไนไตรท์

คำสำคัญ: เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน สเปกโตรโฟโตเมตรี ไนไตรท์ และไนเตรท

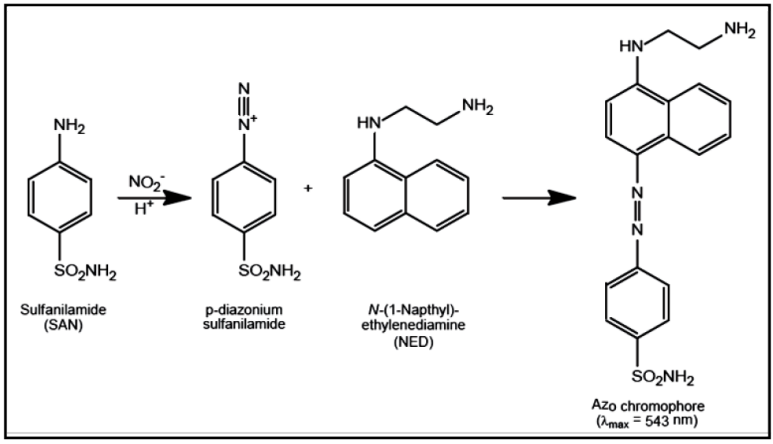
บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำวิธีการทางด้านเคมีวิเคราะห์เข้ามาช่วยเพื่อพิสูจน์หาว่า บุคคลใดเป็นผู้บริสุทธิ์ บุคคลใดเป็นผู้กระทำความผิดหรือเป็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระทำผิด โดยใช้ผลการวิเคราะห์ประกอบเป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ซึ่งถือว่าเป็นที่ยอมรับในกระบวนการยุติธรรม โดยเฉพาะกรณีการก่ออาชญากรรมในคดีที่มีอาวุธปืนมาเกี่ยวข้องจะพบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน 2 ส่วน ได้แก่ เขม่าแก๊ปปืนและเขม่าดินปืนฟุ้งกระจายอยู่โดยรอบสถานที่เกิด

[1]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2]ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 3 สำนักงานตำรวจแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา 30000

เหตุ เขม่าแก๊ปปืนและเขม่าดินปืนเป็นผลที่เกิดขึ้นมาจากการทำงานของอาวุธปืนทุกชนิด ซึ่งใช้เครื่องส่งกระสุนโดยวิธีการจุดระเบิดแล้วเกิดกำลังแรงดันของแก๊สภายใต้กลไกการทำงานของอาวุธปืน [1] การตรวจพิสูจน์ยืนยันการพบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนถือว่าเป็นหลักฐานชิ้นสำคัญที่นำไปสู่การสืบสวนหาตัวอาชญากร เขม่าแก๊ปปืนเกิดจากการเผาไหม้และไม่เผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (แก๊ปปืน) ส่วนใหญ่จะตรวจพบบริเวณมือของผู้ยิง ส่วนเขม่าดินปืนเกิดจากการเผาไหม้และไม่เผาไหม้ของดินปืน ส่วนใหญ่พบที่บริเวณเป้าหมายที่ถูกยิงรวมถึงบริเวณอื่นๆ เช่น เสื้อผ้า ยานพาหนะ และอื่นๆ ที่อยู่โดยรอบบริเวณที่มีการยิงปืน เป็นต้น [2] ซึ่งเขม่าแก๊ปปืนนั้นสามารถตรวจสอบหาธาตุองค์ประกอบหลักได้แก่ ธาตุแอนติโมนี (Sb) ธาตุแบเรียม (Ba) และธาตุตะกั่ว (Pb) ส่วนเขม่าดินปืนสามารถตรวจสอบหาไอออนของไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เนื่องจากไอออนทั้งสองตัวนี้เป็นส่วนประกอบหลักที่พบอยู่ในดินปืน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถตรวจพบไนไตรท์และไนเตรทได้เมื่อเกิดการยิงปืนขึ้น [3]

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



รูปที่ 1 แสดง Griess reaction เพื่อทำให้เกิดสารผลิตผลที่มีสีสำหรับวิเคราะห์สารประกอบไนไตรท์ [4]

การให้เกิดปฏิกิริยาด้วยสารทำให้เกิดสีด้วย 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) อย่างไรก็ตามยังมีรายงานการประยุกต์สารฟอร์มสีตัวอื่นๆสำหรับการวิเคราะห์สารประกอบไนไตรท์ได้เช่นเดียวกัน [9] เทคนิคการแยกและวิเคราะห์ (Separation techniques) ก็มีรายงานการประยุกต์เพื่อใช้วิเคราะห์สารประกอบไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น วิธีการแคปิลลารี อิเล็กโทรฟอเรซีส (Capillary electrophoresis, CE) [10-11] วิธีโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (High performance liquid chromatography, HPLC) [12] และวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas chromatography, GC) [13] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน เพราะเป็นเทคนิค ที่ประยุกต์ได้ง่ายด้วยอุปกรณ์เครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการทั่วไป ที่สำคัญเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นับเป็นเครื่องมือที่มีราคาไม่สูงมากนัก ทั้งยังต้องการทักษะของนักวิเคราะห์ไม่สูงมากจนเกินไปด้วย โดยมุ่งวิเคราะห์หาปริมาณทั้งไนไตรท์และไนเตรทพร้อมกันในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่เก็บโดยรอบเป้าหมายที่ยิง และกำหนดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 6 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน หลักการวิเคราะห์ไนไตรท์ทำได้โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess (รูปที่ 1) เกิดสารผลิตผลสีชมพูซึ่งดูดกลืนแสงสูงสุด (_max) ที่ 540 นาโนเมตร ขณะที่การวิเคราะห์ไนเตรทต้องทำการรีดิวซ์เป็นไนไตรท์ก่อน จึงให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess เช่นเดียวกัน งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์สังกะสีเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) แทนที่การใช้แคดเมียม (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 ยี่ห้อรถพยาบาล 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 เครื่องอัลตราโซนิค (Ultrasonic cleaning bath) รุ่น Transsonic Digitals 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) เอทิลีน ไดอะมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ (N-(1-naphtyl)-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, H2NC6H4SO2NH2) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

1.2.5 โพแทสเซียมไนเตรท (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 ตามลำดับ เติม 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 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง)

2.3.2 การศึกษาความสามารถในการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ด้วย Zn

2.3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Zn ที่มีต่อความสามารถ ในการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้น 806 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตรจำนวน 7 ใบ แยกกัน เติมกรด HCl เข้มข้น (Conc. HCl) ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร และ Zn ปริมาณ 0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัม ในแต่ละบีกเกอร์ตามลำดับ 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 ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์เพื่อใช้สำหรับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทต่อไป

2.3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ HCl ที่มีต่อความสามารถในการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้น 806 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 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 และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HCl (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง) เลือกปริมาณ HCl ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทต่อไป

2.3.2.3 การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่มีต่อความสามารถของ Zn ในการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้น 806 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตรใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรจำนวน 7 ใบ แยกกัน เติมกรด HCl เข้มข้น ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และ Zn ปริมาณ 0.13 กรัม ในแต่ละบีกเกอร์ (ผลการศึกษาที่ได้จากหัวข้อ 2.3.2.1 – 2.3.2.2) คนด้วย Magnetic stirrer เป็นเวลา 0, 10, 20, 30, 60, 120 และ 300 วินาที ตามลำดับ 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 และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง) เลือกเวลาที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทต่อไป

2.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

2.3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างไนไตรท์และไนเตรทความเข้มข้นรวม 0, 109, 218, 327, 436 และ 546 ไมโครโมลาร์ (NO_2^-/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 และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง)

2.3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์ผสมไนเตรทปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างไนไตรท์และไนเตรทความเข้มข้นรวม 0, 109, 218, 327, 436 และ 546 ไมโครโมลาร์ (NO_2^-/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 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 (สารละลายถูกเจือจาง 2 เท่า) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสมในรูป

ของไนไตรท์ (แกนนอน) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกนตั้ง)

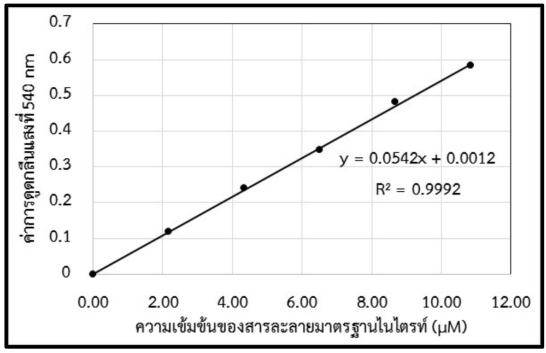
2.3.3.3 การเตรียมตัวอย่างนำก้านสำลี (cotton brush) ใช้เก็บกวาด (Swab) ตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนบริเวณโดยรอบเป้าหมายผ้าขาว (white cotton target) ที่ถูกยิงด้วยระยะยิง 2 นิ้ว โดยใช้ก้านสำลีเก็บกวาดจำนวน 2 ก้าน (2 replicates) ภายหลังการยิงปืนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการสกัดโดยตัดปลายก้านสำลีทั้งสองใส่ในหลอดทดลอง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

2.3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณและร้อยละคืนกลับของไนไตรท์ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง จำนวน 2 หลอด แยกกัน เติมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์เข้มข้น 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 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทปิเปตสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ปริมาตร 1.50 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม 0.25 มิลลิลิตร กรด HCl เข้มข้น และ Zn หนัก 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

ผลการศึกษากราฟมาตรฐานของไนไตรท์ด้วยสารละลาย Griess การศึกษากราฟมาตรฐานของไนไตรท์ด้วยสารละลาย Griess ซ้ำ 10 ครั้ง โดยใช้สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ที่ความเข้มข้น 0.00 ถึง 10.9 ไมโครโมลาร์ (หัวข้อ 2.3.1) เมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่าไนไตรท์มีกราฟช่วงความเป็นเส้นตรง และค่า Correlation coefficient (R^2) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2 และสรุปผลการสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์ด้วยสารละลาย Griess จำนวน 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงกราฟมาตรฐานไนไตรท์ช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.00 – 10.9 ไมโครโมลาร์

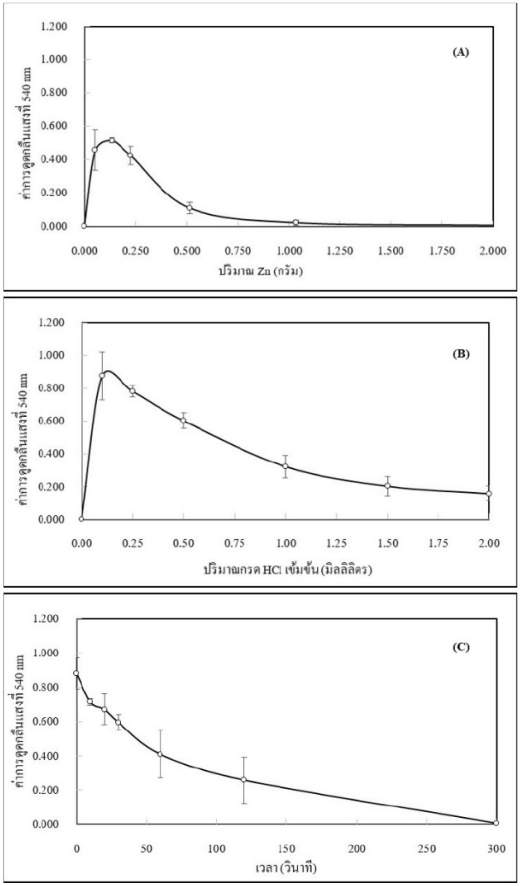
ตารางที่ 1 แสดงผลการสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์ด้วยสารละลาย Griess จำนวน 10 ครั้ง

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 แสดงให้เห็นว่าผลการสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์ทั้งหมด 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 ในรูปของไนไตรท์ กล่าวได้ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะแก่การนำไปประยุกต์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์โดยใช้ Zn เป็นตัวรีดิวซ์

จากผลการศึกษาที่ได้จากหัวข้อ 2.3.2.1 – 2.3.2.3 พบว่าปัจจัยต่างๆที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณ Zn ปริมาณกรด HCl เข้มข้น และเวลา ล้วนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์แสดงดัง



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

รูปที่ 3 ด้วยเหตุที่ไอออนไนเตรท (NO_3-) สามารถถูกรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์หลายชนิดแล้วและยังสามารถเกิดสารผลิตผลซึ่งเป็นสารประกอบของไนโตรเจนหลายชนิดด้วย เรียงลำดับสารผลิตผลต่างๆตามเลขออกซิเดชันของไนโตรเจนอะตอมจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ไนไตรท์ (NO_2-) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และแก๊สไนโตรเจน (N_2) ตามลำดับ

ทั้งนี้การเกิดสารผลิตผลชนิดใดมากหรือน้อยนั้นเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความแรงของสารรีดิวซ์ที่ใช้ ปริมาณของสารรีดิวซ์ สภาวะความเป็น กรด - 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 โดยพบว่าการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นกลับทำให้สารผลิตผลไนไตรท์มีปริมาณลดลง ด้วยเหตุว่าปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นตลอดเวลา ทำให้เกิดสปีชีส์อื่นๆ ของไนโตรเจนที่มีแนวโน้มเลขออกซิเดชันของไนโตรเจนอะตอมลดลงต่ำกว่า +3 นั่นเอง สามารถสรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ แสดงดังตารางที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งพิจารณาเห็นว่าเป็นสภาวะที่ง่าย สะดวก ต้นทุนต่ำ และรวดเร็ว กล่าวได้ว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การไปประยุกต์เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทต่อไป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์

การสร้างกราฟ

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

$$Y1 = m_1X_1 + C \quad .....(1)$$

เมื่อ Y_1 เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตผล (Absorbance, Abs) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร m_1 เป็นค่าความชัน (Abs μM^{-1} NO_2^-) ของกราฟมาตรฐานในหน่วย X_1 เป็นความเข้มข้นไมโครโมลาร์ของไนไตรท์ (μM) และ C เป็นจุดตัดแกน Y (Intercept) ตามลำดับ

3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายผสมไนไตรท์และไนไตรท

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายผสมไนไตรท์และไนไตรทตามหัวข้อที่ 2.3.3.2 โดยใช้สารละลายมาตรฐานผสมระหว่างไนไตรท์และไนเตรทที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.00 ถึง 546 ไมโคร

ตารางที่ 2 แสดงปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์โดยใช้ Zn เป็นตัวรีดิวซ์

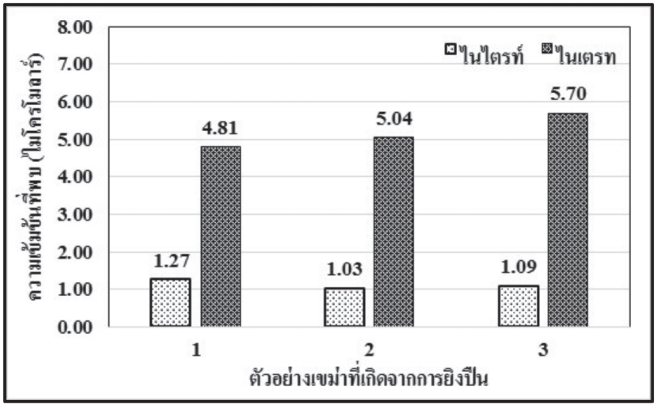
ปัจจัยที่ศึกษา	ช่วงที่ทำการศึกษา	เงื่อนไขที่เหมาะสมที่เลือก
ปริมาณ Zn	0.00 – 2.00 กรัม	0.13 กรัม
ปริมาณกรด HCl เข้มข้น	0.00 – 2.00 มิลลิลิตร	0.25 มิลลิลิตร
เวลาที่ใช้สำหรับการรีดิวซ์	0 – 300 วินาที	ทันที (0 วินาที)

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

$$Y_2 = m_2X_2 + C \quad .....(2)$$

เมื่อ Y_2 เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตผล (Absorbance, Abs) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร m_2 เป็นค่าความชัน (Abs μM^{-1} as NO_2^-) ของกราฟมาตรฐานในหน่วย X_2 เป็นความเข้มข้นรวมไมโครโมลาร์ของไนไตรท์และไนเตรท (μM) และ C เป็นจุดตัดแกน Y (Intercept) ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในสารละลายตัวอย่าง ทำได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตผลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายตัวอย่างกับสารละลาย Griess จะได้ค่า Y_1 แล้วจึงแทนค่า Y_1 ที่ได้ลงในสมการที่ 1 จะสามารถคำนวณความเข้มข้นไมโครโมลาร์ของไนไตรท์ (X_1) ในตัวอย่างได้ จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างชุดเดิมที่มีปริมาตรเท่าเดิมมาทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ Zn 0.13 กรัมและ 0.25 มิลลิลิตร กรด HCl เข้มข้น กรองสารละลายแล้วให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย Griess ก่อนทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารผลิตผลที่เกิดขึ้นจะได้ค่า Y_2 แล้วแทนค่าลงในสมการที่ 2 จะสามารถคำนวณความเข้มข้นไมโครโมลาร์ของไนไตรท์และไนเตรท (X_2) ในตัวอย่างได้ สุดท้ายนักวิจัยก็จะสามารถคำนวณความเข้มข้นไมโครโมลาร์ของไนเตรทในสารตัวอย่างได้จากค่า $X_2 - X_1$ นั่นเอง ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่เก็บบริเวณเป้าที่ถูกยิงด้วยระยะยิง 2 นิ้ว ซึ่งถูกเก็บภายหลังการยิงเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

จากผลในรูปที่ 4 พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณไนไตรท์ที่พบน้อยกว่าปริมาณไนเตรทอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 4 – 5 เท่า การประยุกต์วิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี สามารถวิเคราะห์พบสารที่สนใจทั้งสองชนิดในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนซึ่งเก็บภายหลังการยิงถึง 6 ชั่วโมง นั่นกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่มีความไวที่ดี เพราะโดยปกติปริมาณไนไตรท์และไนเตรทจะลดลงอย่างมากเมื่อถูกทิ้งไว้เป็นเวลานานก่อนการเก็บตัวอย่าง

3.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์

ผลการตรวจสอบค่าร้อยละคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน จำนวน 3 ชุด โดยการนำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ตามหัวข้อที่ 2.3.3.4 โดยการเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานไนไตรท์ (สมการที่ 1) และไนไตรท์ผสมไนเตรท (สมการที่ 2) ซึ่งทำการสร้างใหม่ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง ได้แก่ $y = 0.0629x_1 - 0.0012$ และ $y = 0.0015x_2 - 0.0208$ ตามลำดับ พบปริมาณไนไตรท์ในตัวอย่าง และปริมาณไนไตรท์ในตัวอย่างที่ถูกเติมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อนำความเข้มข้นของไนไตรท์มาคำนวณค่าร้อยละคืนกลับของไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน พบว่าได้ร้อยละคืนกลับของไนไตรท์เฉลี่ย เท่ากับ 72.34

สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วยวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี โดยการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไนไตรท์กับสารละลาย Griess ซึ่งจะเกิดผลิตภัณฑ์สีชมพู และศึกษาการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ด้วย Zn เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ ได้แก่ ปริมาณของกรด HCl เข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 0.25 มิลลิลิตร ปริมาณของ Zn ที่ใช้เท่ากับ 0.13 กรัม และเวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์เกิดสมบูรณ์โดยทันที (0 วินาที)จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนซึ่งเก็บที่เป้ายิงภายหลังการยิงเป็นเวลา 6 ชั่วโมงด้วย

ตารางที่ 3 แสดงค่าร้อยละคืนกลับของการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของไนไตรท์ (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 พบว่าสามารถวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี จึงสรุปได้ว่าวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรีที่เสนอมีความไวที่ดีและสามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อนำไปประยุกต์สำหรับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย จนส่งผลให้งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เบญจ์ พุตินิล. (2554). การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืนด้วยไอออนโครมาโตกราฟี.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต 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 เศรษฐีสมบัติ และศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง. (2557). การหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าปืนที่ติดบนผิวรถยนต์โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี. 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 deter mination 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 Chromatogra phy 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 quadruple 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 ภู่สิทธิศักดิ์ และจิร วัชร ธนูรัตน์. (2556). การหาปริมาณไนเตรทในเขม่าดินปืนภายในลำกล้องปืนโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี. วารสารวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 13(4).

ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่
Instant microwave riceberry cakes

นิสา การเพียร[1] พัชริดา ยุทธกล้า[1]
รัชนีกร ใจบุญ[1] ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ โดยศึกษาอัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้า(40:60) ต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ทั้งหมด 4 ระดับ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ อัตราส่วนแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 70 ต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ร้อยละ 30 จากการศึกษาพบว่า ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ 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 ^{o}h อยู่ในช่วงสีน้ำเงินออกม่วง ในผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบของความชื้น ร้อยละ 7.26±0.09 มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 5.31±0.49 ไขมันร้อยละ 0.66±0.08 เถ้าร้อยละ 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 มีปริมาณแอนตี้ออกซิแดนท์ เท่ากับ 86.64±7.22 µ mol/g และมีปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 0.018±0.04 mg/L ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella sp., Staphylococcus, Bacillus* และ *Clostridium perfingens* ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ และผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมในระดับความชอบปานกลาง เท่ากับ 7.55

คำสำคัญ: แป้งข้าวไรซ์เบอรี่, เค้ก, ไมโครเวฟ

บทนำ

เค้กจัดเป็นขนมที่มีกระบวนการทำให้สุกโดยการอบ เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ทำจากแป้งสาลี น้ำตาลทราย ผงฟู เกลือ ไขมัน นม ไข่ไก่ และกลิ่นรส ส่วนผสมเหล่านี้เมื่อรวมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เค้กที่มีเนื้อละเอียด นุ่ม รสหวาน และมีกลิ่นหอมและเค้กจัดเป็นขนมที่นิยมบริโภคกันทุกกลุ่มชน ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry) ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าว

[1] หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ขาวดอกมะลิ 105 โดยส่วนมากจะอยู่ในเขตภาคเหนือของประเทศไทย มีลักษณะเป็นข้าวเจ้ามีสีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว มีคุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอรี่จะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่างๆที่ถูกสร้างขึ้นในร่างกาย ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล และ ยังมีประโยชน์ในการต้านมะเร็งและช่วยชะลอวัย (รัชนิกร แสงขาว. 2554)

ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่จัดเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้ว ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาเค้กให้ผู้บริโภคสามารถทำรับประทานได้ง่ายๆที่บ้าน ได้ความสดใหม่ อบร้อนๆ พร้อมรับประทานและยังประหยัดเวลาด้วยเครื่องไมโครเวฟ ไมโครเวฟเค้กถือว่าเป็นการเพิ่มทางเลือกหนึ่งในการรับประทานเค้ก และในงานวิจัยนี้ได้มีการนำข้าวไรซ์เบอรี่มาเป็นส่วนประกอบหลักในเค้กเพื่อเพิ่มคุณค่า ทางโภชนาการและเป็นการปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส โดยจะนำส่วนผสมเค้กข้าวไรซ์เบอรี่กึ่งสำเร็จรูปพร้อมรับประทาน ผู้บริโภคเพียงเติมน้ำในส่วนผสม คนให้เข้ากันและนำเข้าเครื่องไมโครเวฟ จะได้เค้กข้าวไรซ์เบอรี่ที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารพร้อมรับประทาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาองค์ประกอบ (Proximate Analysis) ของข้าวไรซ์เบอรี่ ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่และตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ ได้แก่ แป้งข้าวไรซ์เบอรี่ แป้งสาลี (แป้งเค้ก) แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย นมผงขาดมันเนย ผงฟู สูตรดับเบิลแอ็คติง เกลือ สารเสริมคุณภาพเอสพี และแป้งเค้กสำเร็จรูปรสช็อกโกแลตสำหรับไมโครเวฟ (ตัวอย่างทางการค้า)

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบ (Proximate Analysis) ของข้าวไรซ์เบอรี่

ข้าวไรซ์เบอรี่ที่นำใช้ในการทดลองนี้ ได้ใช้ข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านกระบวนการโม่จนเป็นแป้งแล้วนำแป้งข้าวไรซ์เบอรี่มาตรวจวิเคราะห์ ดังนี้

1. การตรวจคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าสี *L* a* b** และค่าสี *L* C* °h*

2. ตรวจคุณสมบัติด้านเคมี วิเคราะห์ค่าความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณ-เถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ค่าพลังงานทั้งหมดในอาหาร ปริมาณอะไมโลส ปริมาณแอนตี้ออกซิแดนซ์ และปริมาณแอนโธไซยานิน

ตอนที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้ในไมโครเวฟเค้กข้าว ไรซ์เบอรี่ ศึกษาอัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้า (40 : 60) ต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ แป้งสาลีและ แป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ ร้อยละ 90:10 80:20 70:30 และ 60:40 ตามลำดับ นำเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้แต่ละสูตรมาตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1. การตรวจสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ วัดเนื้อสัมผัส วัดปริมาตรเค้ก วัดค่าสี และลักษณะโพรงอากาศ

2 การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี กลิน รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี Hedonic scale ระดับคะแนน 1-9 โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคจำนวน 30 คน

ตอนที่ 3 ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่นำสูตรไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือกมาตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

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

2. การตรวจสอบคุณสมบัติด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณ เยื่อใย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ค่าพลังงานทั้งหมด ปริมาณแอนตี้ออกซิแดนซ์ และแอนโทไซยานิน

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

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

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่

ศึกษาองค์ประกอบ (Proximate Analysis) ของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพในแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ มีค่าสีความสว่าง (*L**) เท่ากับ 76.11±0.07 ค่าสีเหลือง (*a**) เท่ากับ 5.04±0.18 ค่าสีเหลือง (*b**) เท่ากับ 8.60±0.04 ค่าความสดใสของสี (*C**) เท่ากับ 9.97±0.12 และค่าเฉดสี (*°h*) เท่ากับ 59.60±0.81 ซึ่งค่าเฉดสีที่ได้อยู่ในโทนสีน้ำเงินออกม่วง เมื่อนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านเคมี ในแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ 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 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ73.44±0.38 อะไมโลสร้อยละ 20.77±0.19 มีค่าพลังงานทั้งหมดร้อยละ 349.19±3.63 kcal/100g มีปริมาณแอนตี้ออกซิแดนท์ เท่ากับ 134.64±0.32μ mol AEAC/gFw และมีปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 0.012±0.07 mg/L จากการศึกษาของ นรินทร์ภพ ช่วยการ และคณะ (2556) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณ 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 ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอ้างอิงมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยปริมาณเยื่อใยมีค่าต่ำกว่างานวิจัยอ้างอิง และมีปริมาณโปรตีนสูงกว่างานวิจัยอ้างอิง ซึ่งอาจเป็นผลมา

จากพื้นที่การเพาะปลูกข้าวจากการทดลองมาจากจังหวัดนครปฐม ส่วนข้าวจากงานวิจัยอ้างอิงปลูกในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จึงอาจทำให้องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งมีผลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่

การตรวจสอบคุณภาพ	แป้งข้าวไรซ์เบอรี่	แป้งข้าวไรซ์เบอรี่*
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 *°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	
แอนตี้ออกซิแดนท์ (μ mol AEAC/gFw)	134.64±0.32	
แอนโธไซยานิน (mg/L)	0.012±0.07	

*นรินทร์ภพ ช่วยการ และคณะ (2556)

ตอนที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าว

เจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ การศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ ร้อยละ 90:10 80:20 70:30 และ60:40 ตามลำดับ ที่มีผลต่อการผลิตไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ จากผลการศึกษาพบว่า แป้งข้าวไรซ์เบอรี่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าในอัตราส่วนที่มีแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เค้กจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและร่วนซุยขึ้น มีลักษณะโพรงอากาศที่เล็กลงและละเอียดมากขึ้น เมื่อมีการเติม อัตราส่วนของข้าวไรซ์เบอรี่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปริมาตรเค้กเพิ่มขึ้นแต่มีความหนาแน่นลดลง เนื่องจากในแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ มีปริมาณเยื่อใยสูง เมื่อมีข้าวไรซ์เบอรี่มากขึ้นจึงทำให้ปริมาณเยื่อใยของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ไปขัดขวางการเกิดเจล ของแป้งข้าวเจ้า ทำให้เนื้อเค้กมีลักษณะร่วนซุยและนุ่มขึ้น และเมื่อมีอัตราส่วนของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เค้กข้าวไรซ์เบอรี่มีค่าความสว่าง (*L**) ค่าสีแดง (*a**) ค่าสีเหลือง (*b**) ค่าความสดใสของสี (*C**) และค่าเฉดสี (*°h*) เพิ่มขึ้น เนื่องจากในข้าวไรซ์เบอรี่มีรงควัตถุแอนโทไซยานิน จึงทำให้เค้กมีสีเข้มขึ้น ซึ่งค่าเฉดสีที่ได้ อยู่ในโทนสีน้ำเงินออกม่วง ซึ่งมีผลแสดงดังภาพที่ 1 และตารางที่ 2



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

ตารางที่ 2 แสดงคุณภาพด้านกายภาพของไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่

ค่าที่วิเคราะห์	อัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ (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}±036	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 3ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี Hedonic scale ระดับคะแนน 1-9 โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคจำนวน 30 คน คะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับโดยรวม มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการทดแทนแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าด้วยข้าวไรซ์เบอรี่ ร้อยละ 10-30 มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกัน จึงเลือกที่ร้อยละ 30 เพราะมีการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอรี่ได้มากที่สุด และเป็นอัตราส่วนที่ทำให้เค้กมีลักษณะปรากฏที่ดี ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กนุ่มและขึ้นฟูพอดี เนื้อไม่ร่วนซุยและไม่แข็งจนเกินไป จึงทำให้ได้รับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูง ส่วนคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสีและกลิ่น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งมีผลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

อัตราส่วนของแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ (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 จุลินทรีย์และการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่

จากผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ทางด้านกายภาพ ได้แก่วัดค่าสี พบว่า มีค่าความสว่าง (*L**) เท่ากับ 70.59±0.62 ค่าสีแดง (*a**) เท่ากับ 2.23±0.04 ค่าสีเหลือง (*b**) เท่ากับ 7.00±0.09 ค่าความสดใสของสี (*C**) เท่ากับ 7.35±0.08 และค่าเฉดสี (°*h*) อยู่ในโทนสีน้ำเงินออกม่วง เมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ทางด้านเคมี พบว่า ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณความชื้น ร้อยละ 7.26±0.09 มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 5.31±0.49โดยน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.66±0.08โดยน้ำหนักแห้ง เถ้าร้อยละ 3.66±0.05โดยน้ำหนักแห้ง เยื่อใยร้อยละ 0.70±0.03 โดยน้ำหนักแห้ง คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.02±0.27

โดยน้ำหนักแห้ง และอะไมโลสร้อยละ 20.58±0.10โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 355.27±2.99 kcal/100g มีปริมาณแอนตี้ออกซิแดนท์ เท่ากับ 86.64±7.22 μ mol/g และมีปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 0.018±0.04 mg/L เมื่อนำมาตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella spp., Staphylococcus aureus, Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* ปรากฏว่าไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ และเมื่อนำไปประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนด้านสีมากที่สุด รองลงมาคือคะแนนด้านความชอบโดยรวม รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัส ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งมีผลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ในรูปแบบผงที่พร้อมเข้าไมโครเวฟเพื่อการบริโภค

ค่าที่วิเคราะห์	ปริมาณ
ค่าความสว่าง (*L**)	70.59±0.62
ค่าสีแดง (*a**)	2.23±0.04
ค่าสีเหลือง (*b**)	7.00±0.09
ค่าความสดใสของสี (*C**)	7.35±0.08
ค่าเฉดสี (hue หรือ °*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
แอนตี้ออกซิแดนท์ (μ mol AEAC/gFw)	86.64±7.22
แอนโธไซยานิน (mg/L)	0.018±0.04

ค่าเฉลี่ยมาจากการวิเคราะห์ 3ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 5 พบว่า การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ผู้บริโภคให้คะแนนด้านสีมากที่สุด อาจเป็นเพราะสีจากข้าวไรซ์เบอรี่มีสีโทนดำอมม่วงแล้วเป็นสีที่ได้จากธรรมชาติและมีประโยชน์ เมื่อนำมาใส่ในผลิตภัณฑ์เค้กจะทำให้สีชัดขึ้นและดึงดูดความสนใจได้มากขึ้น รองลงมาคือคะแนนด้านความชอบโดยรวม รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัส ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง ไรซ์เบอรี่มีปริมาณความชื้น ร้อยละ 7.26±0.09 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.31±0.49โดยน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.66±0.08โดยน้ำหนักแห้ง เถ้าร้อยละ 3.66±0.05โดยน้ำหนักแห้ง เยื่อใยร้อยละ 0.70±0.03โดยน้ำหนักแห้ง คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 82.02±0.27โดยน้ำหนักแห้ง และอะไมโลสร้อยละ 20.58±0.10โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 355.27±2.99 kcal/100g มีปริมาณแอนตี้ออกซิแดนท์ เท่ากับ 86.64±7.22 μ mol/g และมีปริมาณแอนโธไซยานิน เท่ากับ 0.018±0.04 mg/L

ตารางที่ 5 แสดงการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่

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 ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุป

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ อัตราส่วนของแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งไรซ์เบอรี่ที่เหมาะสมในการผลิตไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ คือ ร้อยละ 70:30 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับมาก และนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ การวัดค่าสี พบว่า มีค่าความสว่าง (*L**) เท่ากับ70.59±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 ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวเมื่อนำมาตรวจหาเชื้อจุลินทรีย์ *Salmonella spp., Staphylococcus aureus, Bacillus cereus* และ*Clostridium perfringens* ปรากฏว่าไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ และเมื่อนำไปประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไมโครเวฟเค้กข้าวไรซ์เบอรี่ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยทดสอบด้วยผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนด้านสีมากที่สุด รองลงมาคือคะแนนด้านความชอบโดยรวม รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัส ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง

อ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2556). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 65-70.

จิตนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (25440). เบเกอรี่ เทคโนโลยีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 6. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 4.

ณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2550). รำข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่สารต้านอนุมูลอิสระสูง แปรรูปน้ำมันรำข้าวและลูกกลอนรำข้าวใช้รักษาโรค. เกษตรกรรมธรรมชาติ. 10(4), 13-17.

นรินทร์ภพ ช่วยการ,พร้อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์, อุทัยวรรณ สุทธิศันสนีย์ และฉัตรภา หัตถโกศล. (2556). อิทธิพลของแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพและทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมไขมันต่ำ. วิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 44 ฉบับที่ 2

ภัทรนันท์ สิงห์ฉลาด, วิชุดา อารีรักษ์ และองุ่น เหลาเคน. (2556). ไมโครเวฟเค้กฟักทองกึ่งสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. (พิเศษ), 589-592.

การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง

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

ภิรมณ แสงมณี[1] สุริยุ เสนาอินทร์[1]
ชมัยพร เจริญพร[1]

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบรูณ์ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งการทดลองเป็น 4 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 4 ซ้ำ คือ ไม่ใส่ปุ๋ย (T1 ; ตัวควบคุม) ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) ปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี (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.) และ0.62 (กก.) ตามลำดับ แต่ในด้านความยาวของใบและน้ำหนักสดให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี ในขณะที่ T2 และ T3 ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 27.38 และ 26.51 ซม. ตามลำดับ ความยาวของใบเฉลี่ย 17.99 และ 16.50 ซม. ตามลำดับ ความกว้างของใบเฉลี่ย10.81 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: ธูปฤาษี ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยน้ำหมัก ผักกวางตุ้ง

[1] สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีเพิ่มมากขึ้นในการทำการเกษตร มีการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ของต้นพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่แข็งแรงสมบูรณ์ การใช้สารเคมีทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลายส่งผลให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในพืชที่เพาะปลูก นอกจากนี้สารเคมีดังกล่าวยังส่งผลกระทบในด้านต่างๆ เช่น ด้านสุขภาพ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐกิจ ทำให้เกิดผลกระทบต่อการบริโภคของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น(วัลยาพร, 2556) การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำเป็นปุ๋ยหมักชีวภาพเป็นตัวเลือกหนึ่งในการลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยประโยชน์ของปุ๋ยหมักจะช่วยลดต้นทุนให้แก่เกษตรกร ลดการตกค้างของสารเคมีในแปลงปลูกพืช อีกทั้งยังช่วยปรับสภาพของดินให้ดีขึ้น โดยจุลินทรีย์จะไปย่อยอินทรียวัตถุให้สลายตัวเป็นธาตุอาหารพืชได้เร็วขึ้น ทำให้ดินโปร่ง อุ้มน้ำ และการระบายอากาศได้ดีขึ้น มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทางการเกษตร (สุพจน์และมงคล, 2531) ทั้งนี้มีงานวิจัยหลายชิ้นงานที่นำวัสดุทางการเกษตรได้แก่ ผักตบชวา ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่างๆ หญ้าแห้ง เป็นต้น มาเป็นส่วนประกอบในการทำปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้สารเคมี

ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) จัดว่าเป็นวัชพืชชนิดหนึ่ง สามารถพบได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีรายงานการนำธูปฤาษีไปใช้ประโยชน์หลากหลาย ใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เลี้ยงหรือสัตว์เคี้ยวเอื้อง และลำต้นใช้เป็นปุ๋ยพืชสดหรือใช้ทำปุ๋ยหมักบำรุงดินได้ (นพพล, 2557)) มีปริมาณธาตุอาหารภายใน ลำต้นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน 2.52 % ฟอสฟอรัส 0.26 % โพแทสเซียม 1.04 % (สุภาพร และพิสบุษ์, 2535) จากประโยชน์ของธูปฤาษีดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำธูปฤาษีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านการเกษตร โดยนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมัก เพื่อปรับสภาพโครงสร้างดิน และเพิ่มแร่ธาตุให้กับดินในแปลงผัก อันจะเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรลดการใช้ปุ๋ยเคมี และใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้คุ้มค่า ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งโดยใช้ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี 2 รูปแบบเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี

วิธีดำเนินงานวิจัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบรูณ์ 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 : สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 : และน้ำหมักสารเร่งซุปเปอร์ 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. ซุปเปอร์ พด.2 (20 กิโลกรัม : 5 กิโลกรัม : 5 ลิตร : 12.5 กรัม) ใช้ระยะเวลาในการหมัก 90 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

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

5. ใส่ปุ๋ยทุกๆ 7 วัน หลังย้ายกล้าลงกระถาง

ปลูก ใส่ทั้งสิ้นจำนวน 3 ครั้ง โดยใส่ปุ๋ย ดังนี้

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

5.2 ฉีดพ่นปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี วิธีใช้: เจือจางน้ำหมักจากธูปฤาษีกับน้ำ แล้วฉีดบนพ่นต้นพืช อัตราส่วน 1 มิลลิลิตร/น้ำ 50 มิลลิลิตร/กระถาง (อัตราส่วนคำนวณจาก กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

5.3 ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 วิธีใช้: โรยบางๆ ระหว่างแถว โดยหลังจากที่ใส่ปุ๋ยควรรีบรดน้ำทันที 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 เปรียบเทียบโดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูล แสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) ขึ้นไปและหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้ค่า Duncan Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัย

จากผลการทดลอง การเปรียบเทียบรูปแบบของปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกวางตุ้ง ได้ทำการส่งผลวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี เก็บข้อมูล ความสูงของลำต้น ความยาวของใบ ความกว้างของใบ และน้ำหนักสด มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักของกรมวิชาการเกษตร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าวิเคราะห์ของปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี และปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี

รายการวิเคราะห์	ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี	ค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก (กรมวิชาการเกษตร)	ปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี	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 และปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี โดยโครงการพัฒนาวิชาการดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษีเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำหมักของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2550 และกรมพัฒนาที่ดิน, 2547) พบว่า ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีมีค่าปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร โดยค่าที่เปรียบเทียบ คือ ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่วนปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษีมีค่าปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าค่ามาตรฐานกรมวิชาการเกษตร ยกเว้นค่าโพแทสเซียม

ผลของการใช้ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี ปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง มีผลการทดลองดังตารางที่ 2

ความสูงของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) มีค่าสูงกว่าทุกทรีตเมนต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 32.21 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) และปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี (T3) ให้ผลไม่แตกต่างกัน โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 27.38 และ 26.51 เซนติเมตรตามลำดับ สำหรับทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) มีค่าน้อยกว่าทุกทรีตเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงของลำต้นเฉลี่ย 17.10 เซนติเมตร

ความยาวใบของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) กับทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) มีความยาวใบไม่แตกต่างกัน โดยมีความยาวใบเฉลี่ย 19.08 และ 17.99 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่การใช้ใส่ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) กับปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี (T3) ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความยาวใบเฉลี่ย 17.99 และ 16.50 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) มีค่าน้อยกว่าทุกทรีตเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความยาวใบเฉลี่ย 12.82 เซนติเมตร

ความกว้างใบของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) มีค่าสูงกว่าทุกทรีตเมนต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีความกว้างใบเฉลี่ย 12.30 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้ใส่ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) และปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี (T3) ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความกว้างใบเฉลี่ย 10.81 และ 10.30 เซนติเมตรตามลำดับ สำหรับทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) มีค่าน้อยกว่าทุกทรีตเมนต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) โดยมีความกว้างใบเฉลี่ย 7.12 เซนติเมตร

น้ำหนักสดของผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) ให้น้ำหนักสดสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการใช้ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 0.62 และ 0.52 กิโลกรัมตามลำดับ แต่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (T4) ให้น้ำหนักสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) กับการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี (T3) และทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 0.62, 0.43 และ 0.34 กิโลกรัมตามลำดับ ในขณะที่การใช้ใส่ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี (T2) กับปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี (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

จากผลการทดลองการนำธูปฤาษีมาทำเป็นปุ๋ยหมัก และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี 46-0-0 และไม่ใส่ปุ๋ย (ตัวควบคุม) ทดลองกับผักกวางตุ้ง พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี และปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง โดยปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี ให้ความสูงของลำต้นเฉลี่ย คือ 27.38 เซนติเมตร มากกว่าปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษี คือ 26.51 เซนติเมตร ทั้งปุ๋ยหมักจากธูปฤาษี และปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษีมีความสูงเฉลี่ยมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย (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 กชพรรณ (2557) ได้เปรียบเทียบสูตรปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจำนวน 7 สูตร พบว่าสูตรปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมในการผลิตผักคะน้าและผักกวางตุ้ง คือสูตรที่ 1 ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจากเศษผัก (เศษผัก : กากน้ำตาล = 3 : 1) โดยคะน้ามีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงของลำต้นของคะน้าเฉลี่ยครั้งสุดท้ายดีที่สุด คือ 17.63 เซนติเมตร และผักกวางตุ้ง คือ 16.93 เซนติเมตร ส่วนผักคะน้าและผักกวางตุ้งที่ไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 7 (Control: น้ำบาดาล) มีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงของลำต้นของคะน้าเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ โดยในการทดลองใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากธูปฤาษีกับผักกวางตุ้งที่มีการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงของลำต้นเฉลี่ย 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 + ขี้เถ้าแกลบ (T5) ในอัตราส่วน 15% สิ่งทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของ T5 ซึ่งมีทั้งธาตุอาหารหลักและรองที่มีความเหมาะสม

สรุปผลการทดลอง

การใช้ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ให้ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งดีที่สุด ในขณะที่ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีทั้ง 2 รูปแบบ สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย โดยปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีส่งผลต่อความสูง ความยาวใบ ความกว้างใบ และน้ำหนักสด ไม่แตกต่างจากปุ๋ยน้ำหมัก ทั้งนี้การใช้ปุ๋ยหมักจากธูปฤาษีให้ผลเทียบเท่าปุ๋ยเคมีในด้านความยาวใบ และน้ำหนักสด

เอกสารอ้างอิง

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

กรมพัฒนาที่ดิน. (2550). การผลิตปุ๋ยน้ำอินทรีย์โดยใช้สารเร่ง พด.2. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

นพพล เกตุประสาท. ธูปฤาษี. [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 พรมีอยู่. (2555). ผลของการใช้ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมี ต่อการผลิตผักบุ้งจีน. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. นนทบุรี.

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

สุภาพร จันรุ่งเรือง และพิสบุษ์ จัตวาพรวนิช. (2535). ศึกษาศักยภาพการใช้ธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์รวมศาสน์, กรุงเทพฯ.

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