

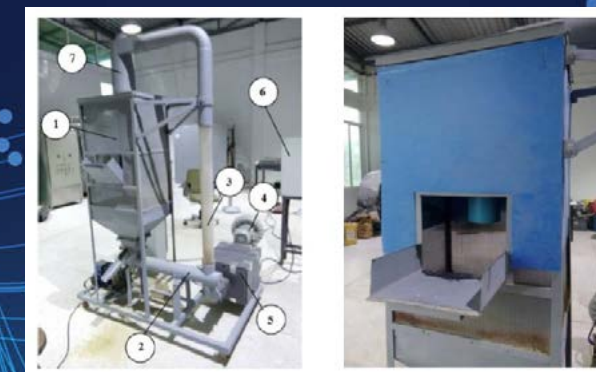
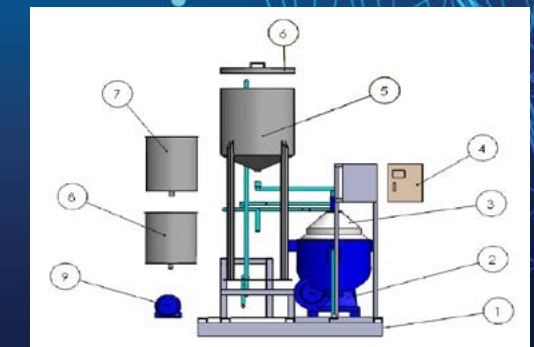
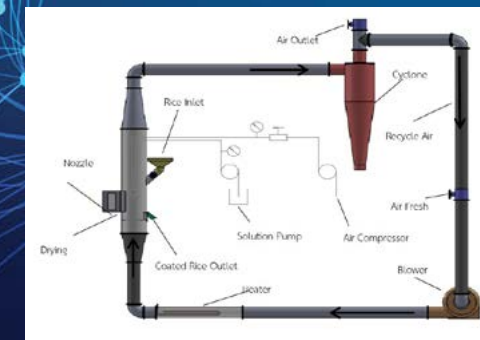


วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561 Vol. 1 No.1 January - June 2018

KMITL Prince of Chumphon Journal Science and Technology



Science and Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

โทรศัพท์ 0-7750-6411, 08-8757-4846

โทรสาร 0-77506-425, 0-7750-6411

URL : <http://www.pcc.kmitl.ac.th>



วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561 Vol. 1 No.1 January - June 2018

วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร	
สำนักงาน	งานบริการวิชาการแก่สังคม ส่วนบริหารธุรกิจ ชั้นที่ 1 อาคารสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 17/1 ม.6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160 โทร 0-7750-6410, 088-7574846	
วัตถุประสงค์	เพื่อสร้างเครือข่ายทางวิชาการของนักวิจัย และนักวิชาการในระดับชาติ	
ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล	รองอธิการบดี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายสร	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยอธิการบดี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมสุข เสพศิริสุข	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ผู้ช่วยอธิการบดี
	นายโสพล จันทรโชติ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ผู้อำนวยการส่วนบริหารทั่วไป
	นางอัญชลี แก้วรักษ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ผู้อำนวยการส่วนวิทยบริการ
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ รัตนเดช	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
กองบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.ร่วมจิตร นกเขา	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายสร	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา ทวีขศรี	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์สรวง ยางทอง	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชพล จุ่งเจริญ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์ สุวลักษณ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ดร.พัชราภรณ์ นาคเทวัญ	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ดร.จุฑารัตน์ คายบ์	สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ศาสตราจารย์ ดร.สมปอง เตชะโต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญจิตร สันติประชา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ จำปาหวะดี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
	รองศาสตราจารย์ ดร. นิวุฒิ หวังชัย	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี	มหาวิทยาลัยบูรพา
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเนาวิ เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา คุณณาว	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ดั่งทองสุข	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
	ดร.จงรักษ์ อรรถรัฐ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
เลขานุการ	นายภูวดล ประพฤติดี	
สารสนเทศ	นายอัศวิน จันทรทัต	

สารบัญ

บทความวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) The Correlation between the Amounts of Gunshot Residue in Nasal Cavity with the Time Period after Shooting by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) Technique สุรีย์พร ตันติศักดิ์ และภาณุวัฒน์ ชุตินวงศ์	1
ผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าในฤดูแล้ง Effect of Shading on Growth and Yield of Chinese Kale in the Dry Season ศิษฐ์สพล หนูพรหม อมรรัตน์ ชุมทอง และพนทิพย์ ทองนุ้ย	9
ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศสีดาในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน Effect of Substrates on Growth and Yield of Sida Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) in Soilless Culture อมรรัตน์ ชุมทอง	17
ผลของการติดตั้งไซโคลนที่มีต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม Effect of Cyclone Installation on Performance of Pneumatic Paddy dryer จิตรารัตน์ จอกแก้ว กระวี ตรีอำนรรค เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และเกียรติศักดิ์ ใจโต	23
การออกแบบและทดลองเครื่องเคลือบแบบสเปรย์ฟลูอิดไรซ์เบดสำหรับการควบคุมเชื้อราในข้าวเปลือก Design and Experiment of Spray Fluidized Bed Coating Machine for Fungus Controlling in Paddy ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล จารุวิทย์ รักขุนส่อ นนทกร พรหมรักษ์ นภนต์ นกแก้ว นฤบดี ศรีสังข์ พรประพา คงตระกูล ธัชพล จุ่งเจริญ และนิตยา จันกา	29
ผลกระทบของอุณหภูมิและความสูงเบดที่ส่งผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งกาแฟกะลาด้วยเทคนิคฟลูอิดไรเซชัน Effects of Temperature and Bed Height on Drying Kinetics, Quality and Energy Consumption of Parchment Coffee Drying by Fluidization Technique นิศากร สารจันทร์ ศิริโรจน์ กล่อมจิตร อิศระ สันโดต นฤบดี ศรีสังข์ นิตยา จันกา ธัชพล จุ่งเจริญ และชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล	36
การเปรียบเทียบการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวลูกผสมชุมพร 60 A Comparison of On Production Process of Virgin Coconut Oil from Chuumphon Hybrid 60 Coconut สดาญ วังสวาท ยศวรรณ จุ้ยต่าย จุลติศ ศิริสุวรรณ และปัญญา แดงวิไลลักษณ์	44

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์
โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)
The Correlation between the Amounts of Gunshot Residue in Nasal Cavity
with the Time Period after Shooting by Inductively Coupled Plasma Optical Emission
Spectrometry (ICP-OES) Technique

สุรีย์พร ตันติศักดิ์^{1*} และ ภาณุวัฒน์ ชุตินวงศ์²
Sureeporn Tantisak^{1*} and Panuwat Chutivongse²

¹หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

¹Master of Science Program in Medical Science, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok

²Department of Forensic Medicine, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok

*Corresponding author: k_kung@windowslive.com

บทคัดย่อ

เขม่าปืน เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ถูกร้องขอให้ทำการตรวจพิสูจน์เพื่อนำไปเชื่อมโยงกับผู้ที่ใช้ปืนในการก่ออาชญากรรม เมื่อมีการยิงปืน อนุภาคต่างๆ จะปลิวกระจายเกาะในตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายผู้ยิง เช่น มือ แขน เสื้อผ้า รวมถึงเส้นผมของผู้ยิง การตรวจพิสูจน์หาเขม่าปืนในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนเป็นทางเลือกใหม่ในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังยิงปืน ทำการทดลองโดยแบ่งอาสาสมัครทั้งหมด 104 คน ออกเป็น 8 กลุ่ม ตามช่วงเวลาที่จะทำการเก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืนคนละ 3 นัด (0 3 6 12 24 36 48 และ 60 ชั่วโมง) เก็บตัวอย่างเขม่าปืนด้วยสำลีที่จุ่มด้วย 2% EDTA จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณเขม่าปืนด้วยเทคนิค ICP-OES ผลการวิจัยพบว่า ภายใน 60 ชั่วโมงหลังการยิงปืน พบธาตุพลวง (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) โดยปริมาณของธาตุพลวง (Sb) และ ตะกั่ว (Pb) จะพบสูงสุดในช่วง 0-12 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงตามระยะเวลา ส่วนปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) มีลักษณะไม่คงที่ ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ชัดเจน

คำสำคัญ: เขม่าปืน, ไอซีพีโออีเอส, โพรงจมูก

Abstract

Gunshot residues (GSR) are usually used to investigate in many cases for linking up to suspect shooters. Gunshot residues are mostly found on the suspect's clothes, hair and hands. The examination in nasal cavity of suspect shooter is alternative method for criminal investigation. The aim of this study is to determine the duration time which GSR can be detected within nasal cavity by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) technique. The 104 subjects were divided according to the sampling time. Samples were collected after firing three shots (0, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 60 hours). The samples were collected from the nasal cavity using 2%EDTA cotton swab. GSR elements (Sb, Pb and Ba) were then analyzed by ICP-OES technique. GSR elements can be detected from the nasal cavity up to 60 hours post firing time. Antimony (Sb) and Lead (Pb) were relatively high during 0-12 hours post-firing collection time and decreased afterwards. On the other hand, the amount of barium was varying, no obvious trend was observed.

Keywords: Gunshot residue, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), Nasal cavity

บทนำ

การปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับการตรวจพิสูจน์วัตถุพยานที่มีความหลากหลาย ประกอบกับวัตถุพยานเหล่านั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลาตามวิวัฒนาการและเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันการกระทำความผิดทางอาชญากรรมโดยเฉพาะการกระทำความผิดโดยใช้อาวุธปืนมีแนวโน้มสถิติเพิ่มมากขึ้น (Amy, 2012 ; Tasneem Raja and Jaeah Lee., 2012 ; ระบบสารสนเทศสำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2560) ดังนั้นอาวุธปืนหรือวัตถุพยานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนจึงกลายเป็นวัตถุพยานที่ถูกร้องขอให้ทำการตรวจพิสูจน์เพื่อนำไปสู่การพิสูจน์ข้อเท็จจริงของการก่อคดีในลักษณะของการเชื่อมโยงการกระทำความผิดหรือเพื่อการคลี่คลายการก่อคดีในประเด็นอื่นๆของการก่ออาชญากรรม เหม่าปืน (Gunshot Residue; GSR) คือ สิ่งที่เหลือทิ้งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายหลังจากการยิงปืนโดยอาศัยอนุภาคของเหม่าปืนซึ่งได้มาจากการระเบิดและเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer) ธาตุสำคัญที่มีอยู่ในชนวนท้ายกระสุนปืน คือ พลวง (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) (Meng HH, 1997 ; Edson L. *et al.*, 2003 ; Reis *et al.*, 2007) การตรวจหาเหม่าปืน จึงอาศัยการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุทั้งสามเพื่อใช้บ่งชี้ว่า ผู้ต้องสงสัยได้ผ่านการยิงปืนหรือสัมผัสอาวุธปืนมาหรือไม่ การเก็บพยานหลักฐานต่างๆเพื่อตรวจหาเหม่าปืนจึงมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อรูปคดีและการสืบสวน

เมื่อมีการยิงปืน อนุภาคต่างๆจะปลิวกระจายเกาะในตำแหน่งต่างๆของร่างกายผู้ยิง เช่น มือ แขน เสื้อผ้า รวมถึงเส้นผมของผู้ยิง (Basu S., 1982, Meng HH *et al.*, 1997, Romolo FS *et al.*, 2001, Maiara O. *et al.*, 2012) โดยทั่วไปในกระบวนการสืบสวนสอบสวนปัจจุบัน จะใช้การตรวจหาเหม่าปืนที่บริเวณมือของผู้ต้องสงสัยเป็นหลัก (เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น., 2011; ปรีชา และ สันต์., 2012; Anil Aggrawal., 2014) อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีความเป็นไปได้ที่จะตรวจไม่พบเหม่าปืนบนมือของผู้กระทำความผิดที่มีการสวมใส่ถุงมือในการก่อเหตุหรือมีการล้างมือภายหลังจากการก่อเหตุอาชญากรรม ดังนั้นการตรวจหาเหม่าปืนจากมือของผู้ต้องสงสัยจึงไม่ใช่วิธีเดียวที่จะพิสูจน์ได้ว่าผู้ต้องสงสัยได้กระทำความผิดด้วยการยิงปืนหรือไม่ ทั้งนี้ การตรวจหาเหม่าปืนภายในโพรงจมูก จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่จะสามารถใช้ตรวจหาเหม่าปืนจากผู้ต้องสงสัยในกรณีที่ไม่สามารถตรวจหาเหม่าปืนจากมือของผู้ต้องสงสัยได้

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในการตรวจหาเหม่าปืนเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) เพื่อบ่งชี้ตัวผู้กระทำความผิดนั้น ได้แก่ Neutron Activation Analysis (NAA) หรือการตรวจวิเคราะห์ปฏิกิริยานิวตรอนเพื่อหาสารประกอบอนินทรีย์ของเหม่าปืนจากชนวนท้ายกระสุนปืน (Romolo and Margot., 2001) แต่มีข้อจำกัดด้วยค่าใช้จ่ายสูง ใช้ระยะเวลานาน และไม่สามารถตรวจวัดธาตุตะกั่วได้ Atomic Absorption Spectrometry (AAS) เป็นเทคนิคที่อาศัยกระบวนการซึ่งเกิดจากอะตอมอิสระของธาตุซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุนั้นๆ วิธีนี้มีความไว มีความจำเพาะเจาะจง สามารถตรวจหาธาตุพลวง แบเรียมและตะกั่วได้ แต่ใช้เวลานานเนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุทั้งสามได้ในเวลาเดียวกัน ขณะที่ Inductively Coupled Plasma Spectrometry เป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพอย่างรวดเร็ว มีความเที่ยงตรงสูง (Koons RD., 1998 ; Reis *et al.*, 2003 ; Sarkis *et al.*, 2007) มีความไวในการตรวจวิเคราะห์ ใช้เวลาน้อยและสามารถวิเคราะห์ธาตุในสารละลายตัวอย่างได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน จึงเป็นเทคนิคที่นิยมและเป็นมาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบัน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมี

สารมาตรฐานพลวง (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท High-Purity Standards (USA) กรดไนตริก (HNO_3) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Merck® (Germany) Ethylenediaminetetraacetic (EDTA; $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท เคมีภัณฑ์ ลาบอราทอรีส์ จำกัด (ประเทศไทย) และ สำลิก้านชนิดก้านไม้



Figure 1 Sterile cotton swab

การทดสอบยิงปืน

การศึกษานี้ได้ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทดสอบยิงปืน สนามยิงปืนของโรงเรียนนายร้อยตำรวจสามพราน จังหวัดนครปฐม

การเตรียมอาสาสมัคร ให้อาสาสมัคร (13 คน/กลุ่ม) ทำการยิงปืนในลักษณะท่าทางการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธก่อนแล้วใช้มือซ้ายกำหัตถ์มือขวาเพื่อรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ยิงปืนภายในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัดผ่านโดยใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ใช้กระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ Bullet Master อาสาสมัครยิงปืนคนละ 3 นัด ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 10 เมตร เมื่อถึงเวลาที่กำหนดคือ หลังยิงปืนทันที, 3 6 12 24 36 48 และ 60 ชั่วโมง จะทำการเก็บตัวอย่างจากบริเวณโพรงจมูกของอาสาสมัครคนละ 1 ครั้ง โดยใช้สำลีที่จุ่มด้วยสารละลาย 2% EDTA (w/v) เก็บใส่ให้ทั่วโพรงจมูกแล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกใสมีซิปลิดเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการวิเคราะห์ตัวอย่างต่อไป

ภายหลังการยิงปืน ก่อนจะถึงช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง อนุญาตให้อาสาสมัครดำเนินกิจกรรมตามชีวิตประจำวันได้ตามปกติ เพื่อเลียนรูปแบบการก่อเหตุของผู้กระทำความผิด ทั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการจดบันทึกการใช้ชีวิตหลังการยิงปืนของอาสาสมัครทุกคน

การวิเคราะห์ปริมาณเขม่าปืน

การเตรียมสารมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานโดยใช้ 2% nitric acid เจือจางสารมาตรฐาน พลวง แบบเรียม และตะกั่ว จากความเข้มข้น 1000 mg/L นำมาเจือจางให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 mg/L

การสกัดตัวอย่างเขม่าปืน

ทำการสกัดโดยนำสำลีที่ได้จากการเก็บตัวอย่างใส่ลงในหลอดพอลิโพรพิลีน (polypropylene tube) ที่ถูกเติมด้วยสารละลาย 2% nitric acid (v/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดปากหลอดทดลอง ทำการแช่ตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นสกัดอนุภาคของเขม่าปืนโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic bath) ที่ความถี่ 25 กิโลเฮิรท์ซ (kHz) เป็นเวลา 5 นาที และแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที นำสำลีที่แช่ออก (Reis *et.al.*, 2013 ; Gabriela *v.*, 2015) นำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) รุ่น Optima 2100 DV จากบริษัท PerkinElmer ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือ จะวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22 โดยใช้สถิติ One-way ANOVA เพื่อทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มข้อมูล โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ p -value น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 แสดงค่าเป็น mean $\pm$ SD

Table 1 Main ICP-OES parameters

RF power (W)	1300
Argon gas flow (L/min)	14
Auxiliary gas flow (L/min)	0.2
Nebulizer gas flow (L/min)	0.6
Sample flow rates (mL/min)	1.5
Torch	Quartz tube
Limit of detection (mg/L)	Sb = 0.00202 Pb = 0.00145 Ba = 0.00141
Limit of quantification (mg/L)	Sb = 0.00675 Pb = 0.00483 Ba = 0.00471

ผลและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการตรวจหาเขม่าป็นในโพรงจมูกผู้ยิงปืนด้วยเทคนิค ICP-OES โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุพลวง แบเรียม และตะกั่วที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเขม่าป็นในโพรงจมูกผู้ยิงปืนตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ เก็บตัวอย่างทันทีภายหลังจากการยิงปืน เก็บตัวอย่างภายหลังจากการยิงปืนไปแล้ว 3 6 12 24 36 48 และ 60 ชั่วโมงพบว่า การเก็บตัวอย่างในโพรงจมูกของผู้ยิงปืน จากการยิงปืนคนละ 3 นัด และเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการป้ายด้วยสำลีชนิดก้านไม้จุ่มสารละลาย 2% EDTA สามารถตรวจพบธาตุ พลวง แบเรียม และตะกั่วภายใน 60 ชั่วโมงหลังการยิงปืน โดยปริมาณของธาตุพลวง พบปริมาณเฉลี่ยสูงสุดในตัวอย่างที่เก็บทันทีภายหลังจากการยิงปืน (0 ชั่วโมง) มีค่าเป็น 0.04150 mg/L เมื่อพิจารณาจากการเก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่กำหนดต่อมา พบปริมาณพลวงมีการลดลงอย่างช้าๆ ในการเก็บตัวอย่างภายหลังจากการยิงปืนในชั่วโมงที่ 3 และ 6 มีค่าเป็น 0.03992 mg/L และ 0.03415 mg/L ตามลำดับ จากนั้นจะมีการลดปริมาณของเขม่าป็นอย่างรวดเร็วในการเก็บตัวอย่างภายหลังจากการยิงปืน 12 ชั่วโมง มีค่าเป็น 0.00410 mg/L และจะลดลงจนไม่สามารถตรวจพบปริมาณของธาตุพลวงได้หลังจากการยิงปืนผ่านไป 24 ชั่วโมง ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 2

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแบเรียม พบว่ามีปริมาณที่ไม่คงที่ ไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างหลังการยิงปืนชั่วโมงที่ 3 มีปริมาณของธาตุแบเรียมต่ำที่สุด มีค่าเป็น 0.05500 mg/L หลังจากนั้นปริมาณของแบเรียมจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างที่ 12 ชั่วโมง มีค่าเป็น 0.13830 mg/L และค่อยๆ ลดลงอีกครั้งในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่ 24 มีค่าเป็น 0.12667 mg/L และลดลงจนเกือบจะคงที่ในการเก็บตัวอย่างหลังการยิงปืนในชั่วโมงที่ 36-60 มีค่าเป็น 0.09223 mg/L 0.09208 mg/L และ 0.09491 mg/L ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 3

ปริมาณธาตุตะกั่วในเขม่าป็นจากการยิงปืนจำนวน 3 นัด พบเป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับธาตุพลวงและแบเรียมที่เป็นองค์ประกอบหลักในเขม่าป็น และผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุตะกั่ว พบปริมาณเฉลี่ยสูงสุดในตัวอย่างที่เก็บทันทีภายหลังจากการยิงปืน (0 ชั่วโมง) มีค่าเป็น 0.27783 mg/L จากนั้นจะมีการลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อพิจารณาจากการเก็บตัวอย่างในชั่วโมงที่กำหนดต่อมา พบปริมาณพลวงมีการลดลงอย่างช้าๆ ในการเก็บตัวอย่างภายหลังจากการยิงปืนในชั่วโมงที่ 3 และ 6 มีค่าเป็น 0.08600 mg/L และ 0.05446 mg/L ตามลำดับ เช่นเดียวกับธาตุพลวง และในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างที่ 12 ชั่วโมง ปริมาณธาตุของตะกั่วมีการเพิ่มขึ้นผิดปกติ มีค่าเป็น 0.15070 mg/L

หลังจากนั้นปริมาณธาตุตะกั่วจะลดลงและเกือบจะคงที่ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างในช่วงเวลาที่ 24 36 48 และ 60 ตามลำดับ มีค่าเป็น 0.01475 mg/L 0.01015 mg/L 0.01633 mg/L และ 0.01973 mg/L ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 4

Table 2 The amounts of elements in gunshot residue (mean $\pm$ SD)

Sampling time	Amounts of GSR elements (mg/L)		
	Sb	Ba	Pb
0 hour	0.04150 $\pm$ 0.006	0.08467 $\pm$ 0.020	0.27783 $\pm$ 0.088
3 hours	0.03992 $\pm$ 0.008	0.05500 $\pm$ 0.020	0.08600 $\pm$ 0.081
6 hours	0.03415 $\pm$ 0.002	0.07731 $\pm$ 0.034	0.05446 $\pm$ 0.034
12 hours	0.00410 $\pm$ 0.011	0.13830 $\pm$ 0.032	0.15070 $\pm$ 0.028
24 hours	-0.01842 $\pm$ 0.006	0.12667 $\pm$ 0.035	0.01475 $\pm$ 0.009
36 hours	-0.00784 $\pm$ 0.002	0.09223 $\pm$ 0.023	0.01015 $\pm$ 0.008
48 hours	-0.00954 $\pm$ 0.002	0.09208 $\pm$ 0.028	0.01633 $\pm$ 0.002
60 hours	-0.00555 $\pm$ 0.003	0.09491 $\pm$ 0.038	0.01973 $\pm$ 0.003

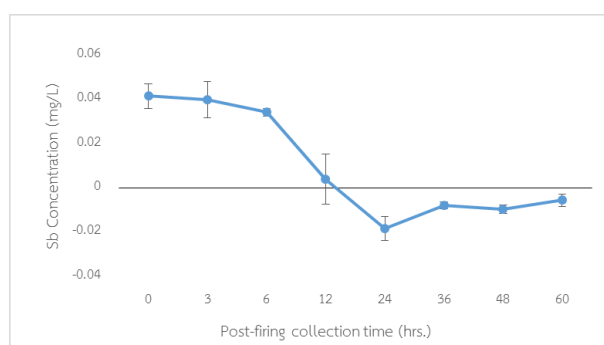


Figure 2 The average concentrations of Antimony (Sb) residue (mean $\pm$ SD) within the nasal cavities as function of post-firing collection time.

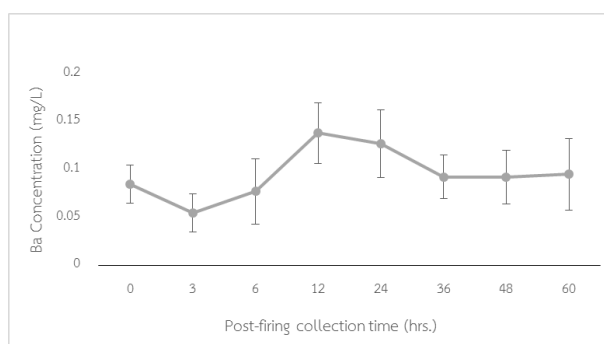


Figure 3 The average concentrations of Barium (Ba) residue (mean $\pm$ SD) within the nasal cavities as function of post-firing collection time.



Figure 4 The average concentrations of Lead (Pb) residue (mean±SD) within the nasal cavities as function of post-firing collection time.

สรุป

การศึกษความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่ระยะเวลาต่างๆ คือ เก็บทันทีภายหลังการยิงปืน 3 6 12 24 36 48 และ 60 ชั่วโมง โดยใช้อาวุธปืนพกสั้น กึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 และกระสุนปืน ขนาด 9 มิลลิเมตร ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ Bullet Master ทำการทดลองโดยให้อาสาสมัครทำการยิงปืนภายในห้องปิด ไม่มีลมพัดผ่านคนละ 3 นัด ในลักษณะทำยืนยิงมือทั้งสองข้างจับปืน โดยใช้มือขวากำอาวุธปืนก่อนแล้วใช้มือซ้ายกำทับมือขวาเพื่อรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ก้านสำลิจุ่มด้วยสารละลาย 2% EDTA ภายหลังการยิงปืนกำหนดให้อาสาสมัครสามารถดำเนินกิจกรรมใดๆ ได้ตามความต้องการ เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้เทคนิค Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) สามารถตรวจพบธาตุที่เป็นเป็นองค์ประกอบหลักในเขม่าปืน คือ ธาตุพลวง แบเรียม และตะกั่ว โดยพบธาตุตะกั่ว มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณของธาตุพลวงและแบเรียม ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Anil Aggrawat (2014) ได้สรุปเนื้อหาลงในหนังสือ APC Textbook for Forensic Medicine and Toxicology ตอนหนึ่ง ซึ่งสรุปไว้ว่าเขม่าปืนสามารถยังอยู่และพบได้ภายในโพรงจมูกของมนุษย์ และการทดลองของ Marina Aliste และ Luis Guillermo Chávez (2016) ที่ได้วิเคราะห์หาเขม่าปืนในโพรงจมูกภายหลังจากการยิงปืนที่มีขนาดลำกล้องแตกต่างกัน โดยใช้เทคนิค Atomic Absorption Spectrometry (AAS) และเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการป้ายโดยใช้ก้านสำลิจุ่มด้วย 2% EDTA ผลการทดลองพบปริมาณเขม่าปืนจะมีปริมาณมากขึ้นตามขนาดลำกล้อง ซึ่งพบธาตุตะกั่วปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือแบเรียมและพลวง ตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ขนาดลำกล้องของอาวุธปืนมีผลต่อปริมาณเขม่าปืน

ผลจากการศึกษาการเก็บตัวอย่างด้วยก้านสำลี ตรวจพบปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \leq 0.001$) โดยจะมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นธาตุแบเรียมในโพรงจมูกที่ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ซึ่งปริมาณของธาตุแบเรียมในโพรงจมูกมีความแตกต่างกันในแต่ละคนค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากกายวิภาคศาสตร์ภายในของโพรงจมูกที่แตกต่างกันไปในแต่ละคนทำให้สามารถดูดซับปริมาณเขม่าได้ไม่เท่ากัน (Schwartz H. *et.al*, 1995) หรืออาจเกี่ยวข้องกับชนิดของก้านสำลีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยวิธีการป้าย จากการศึกษาของคุนิตา อ่อนละอ (2559) พบว่าสำลิจุดก้านไม้มีแนวโน้มพบเขม่าปืนของธาตุพลวง ตะกั่ว และแบเรียมมีปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสำลิจุดก้านพลาสติก ขณะเดียวกันปริมาณของธาตุแบเรียมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยสำลิจุดก้านไม้ มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าสำลิจุดก้านพลาสติกมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากการปนเปื้อนจากวัสดุที่ใช้ทำสำลิก้าน จึงเป็นข้อควรระวังในการใช้สำลิก้านไม้ในการเก็บตัวอย่างเขม่าปืน และ ในบางช่วงเวลาที่ปริมาณของธาตุตะกั่ว และ แบเรียม มีการเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ การเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกตินี้อาจเป็นผลมาจากการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมของอาสาสมัครในกลุ่มนั้นๆ เนื่องจากธาตุธาตุตะกั่ว และ แบเรียม สามารถพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม (Wolten G.M., 1980) (Dalby O., 2010) (Romolo FS. and Margot P., 2001) (อัญญาพร ผลภาค, 2555) อย่างไรก็ตาม การตรวจหาเขม่าปืนในโพรงจมูกเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับตรวจหาเขม่าปืนใน

ผู้กระทำความผิดที่สวมใส่ถุงมือหรือล้างมือก่อนที่จะถูกจับกุม แต่ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์ต่อการสืบสวนสอบสวน การเลือกใช้วัสดุในการเก็บตัวอย่างถือเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง เพราะอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณการวิเคราะห์แบบผลบวกสูง การศึกษานี้ได้ศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่อาสาสมัครเป็นนักเรียนนายร้อยตำรวจทำให้มีกิจกรรมเกี่ยวกับการฝึกยุทธวิธีอยู่ตลอดเวลา ยังต้องมีการศึกษาในกลุ่มอาสาสมัครที่หลากหลายเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- คุณิตา อ่อนละอ, จิรวัชร ธนรัตน์ และ วรธนา ศิริแสงตระกูล. 2016. การทดสอบ ประสิทธิภาพของสำลีก้านในการเก็บตัวอย่างป็นชนิดอนินทรีย์. The National and International Graduate Research Conference: 166-74.
- เชิดพงศ์ ชุกกลิน. 2554. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืนและระยะเวลา ภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพมหานคร
- ปรีชา หงส์ศักดิ์ศิลป์ และ สันต์ สุขวัจน์. 2555. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าป็นในกระสุนปืน ชนิดที่ชนวนท้ายองค์ประกอบเป็นธาตุโลหะหนัก(ตะกั่ว) และทดสอบความคงอยู่ของเขม่าป็นโดยใช้ SEM/EDS. วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี :20-30.
- ระบบสารสนเทศสำนักงานตำรวจแห่งชาติ (POLIS). สถิติข้อมูลคดีอาญา 5 กลุ่ม ข้อมูลของ ทัวราชอาณาจักร วันที่ 30 มิถุนายน 2012 ถึง 30 มิถุนายน 2017. พัฒนาโดย: กลุ่มงานสารสนเทศฯ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศกลาง. http://gis.police.go.th/cstat/stat/arr-percent/all/pdf?start_date=2012-06-30&end_date=2017-06-30 (เข้าถึงเมื่อ 25 กรกฎาคม 2560)
- อัษฎายุทธ ผลภาค. 2555. เปรียบเทียบอนุภาคของเขม่าที่ได้รับจากการประกอบอาชีพและเขม่าป็นชนิด Lead-free. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพมหานคร
- Aggrawal A. 2014. APC Textbook of Forensic Medicine and Toxicology. Delhi: Avichal publishing.
- Aliste M, Cha'vez LG. 2016. Analysis of gunshot residues as trace in nasal mucus by GFAAS. Forensic Sci Int.; 261:14-8.
- Amy SawittaLefevre. 2012. Friendly Thailand stares down the barrel of rising gun crime. <http://www.reuters.com/article/us-thailand-guns-idUSBRE89K0GE20121021> (เข้าถึงเมื่อ 29 มีนาคม 2559)
- Basu S., Ferriss S. 1980. A refined collection technique for rapid search of gunshot residues particles in the SEM, scan. Electron Microsc 1: 375-384.
- Dalby O, Butler D, Birkett JW. 2010. Analysis of gunshot residue and associated material – a review. J Forensic Sci. ; 55(4):924–43.
- Edson L. T. Reis, Jorge E. Souza Sarkis and Osvaldo N. Neto. 2003. A New Method for Collection and Identification of Gunshot Residues from the Hands of Shooters. J Forensic Sci. 48.
- Gabriela Vanini, Caline A. Destefani, Bianca B. Merlob, Maria Tereza W.D. Carneiro, Paulo R. Filgueiras, Ronei J. Poppi, WandersonRomão. 2015. Forensic ballistics by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy: Quantification of gunshot residues and prediction of the number of shots using different firearms. Microchemical Journal; 118: 19-25.
- Jorge E. Souza Sarkis. 2007. Measurements of gunshot residues by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry - Further studies with pistols. Forensic Sci Int; 172: 63–66.

- Koons RD. 1998. Analysis of gunshot primer residue collection swab by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *J Forensic Sci*; 43(4): 748-754
- Meng HH, Caddy B. 1997. Gunshot residue analysis-a review. *J Forensic Sci*. 42(4): 553-570.
- Salles MO, Naozaka J, Bertotti M. 2012. A forensic study: Lead determination in gunshot residue. *Microchemical Journal*.; 101: 49-53
- Saverio Romolo F and Margot P. 2001. Identification of gunshot residue: a critical review. *ForensicSciInt*; 119: 195-211.
- Schwartz RH, Zona. 1995. CA. A recovery method for airborne gunshot residue retained in human nasal mucus. *J Forensic Sci*.; 40:659-61
- Tasneem Raja and Jaeah Lee. 2012. A Guide to Mass Shootings in America. Mother Jones. [Online] Available at <http://www.motherjones.com/politics/2012/07/mass-shootings-map/> (25 July 2560)
- Wolten GM, Nesbitt RS. 1980. On the mechanism of gunshot residue particle formation. *J Forensic Sci*. ;25(3): 533-45.

ผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าในฤดูแล้ง Effect of Shading on Growth and Yield of Chinese Kale in the Dry Season

ศิษฐ์สพล หนูพรหม* อมรรัตน์ ชุมทอง และ ฟonthip ทองนุ้ย
Karistspol Nooprom*, Amornrat Chumthong and Fonthip Thongnui

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา
Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla

*Corresponding author: abhichard_n@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าที่ปลูกในฤดูแล้ง ที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา ระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2559 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ มี 4 สิ่งทดลอง คือ 1) ไม่พรางแสง 2) พรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ 3) พรางแสงด้วย ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ และ 4) พรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ผลศึกษาพบว่า การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตสูงกว่าการไม่พรางแสง โดยเฉพาะผักคะน้าที่ปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวใบ ความกว้างใบ และเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นสูงสุด 20.6 14.3 และ 17.6 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนการปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีจำนวนต้นกล้ารอดตาย ความสูงต้น จำนวนใบ และความยาวใบต่ำสุด การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุดเท่ากับ 802.4 กิโลกรัม ในขณะที่การปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำสุด 340.6 กิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีดำและสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ที่มีผลผลิตต่อไร่ 530.2 และ 483.4 กิโลกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความเข้มแสง, ตาข่ายพรางแสง, ผักคะน้า

Abstract

The study was conducted to observe effect of shading on growth and yield of Chinese kale in the dry season at Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla Province during April to June 2016. Randomized complete block design was laid out with 4 replications. There are 4 treatments: 1) no shading 2) black shaded net with 50% shading 3) green shaded net with 50% shading and 4) blue shaded net with 50% shading. The results showed that Chinese kale growing under the 3 kind of shade nets had higher growth than no shading. Especially, growing under green shade net with 50% shading had the highest leaf length, leaf width and stem diameter of 20.6, 14.3 and 17.6 cm, respectively while no shading had the lowest survival seedling, plant height, number of leaves and leaf length. Chinese kale growing under green shade net with 50% shading gave the highest yield per rai of 802.4 kg while no shading had low yield per rai of 340.6 kg which was not significantly different from growing under black and blue shade nets with 50% shading that had yield per rai of 530.2 and 483.4 kg, respectively.

Keyword: Light intensity, Shade nets, Chinese kale

บทนำ

แสง (light) เป็นปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดต้องการความเข้มแสง (light intensity) เพื่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน พืชผักต้องการความเข้มแสงเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 1,000 แรงเทียน (foot-candle) หรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับชนิดของผัก เช่น ผักที่ใช้ผลและเมล็ดเพื่อการบริโภคต้องการความเข้มแสงเพื่อการเจริญเติบโตสูงกว่าผักที่ใช้ใบเพื่อการบริโภค หากพืชได้รับความเข้มแสงมากขึ้น นอกจากทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชไม่เพิ่มขึ้นแล้ว พืชอาจมีผลผลิตลดลงหรือตายได้ ซึ่งเกิดจากการถูกเผาไหม้ด้วยแสงแดด (ศรีฐิตพล, 2559) ประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิภาคเขตร้อน การปลูกพืชจึงมักประสบปัญหาความเข้มแสงที่สูงเกินไป ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน หรือฤดูแล้ง (ศรีฐิตพล, 2557) อย่างไรก็ตามการพรางแสงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยลดระดับความเข้มแสงบริเวณแปลงปลูกพืชได้ (วิรัตน์, 2543) Nooprom et al. (2013) รายงานผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบรอกโคลีในฤดูแล้งในจังหวัดสงขลา พบว่าบรอกโคลีที่ปลูกภายใต้ ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์มีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าบรอกโคลีที่ปลูกโดยการไม่พรางแสง สอดคล้องกับผลการศึกษาของวิรัตน์ และอารดา (2544) ที่พบว่าการปลูกกะหล่ำดอกพันธุ์ฟูจิภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ในฤดูร้อนให้ผลผลิตสูงกว่ากะหล่ำดอกที่ปลูกโดยการไม่พรางแสง เช่นเดียวกับสมยศ และสังคม (2551) ที่รายงานว่ามะเขือเทศที่ปลูกภายใต้การพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ให้ปริมาณผลผลิตและคุณภาพสูงกว่ามะเขือเทศที่ปลูกโดยการไม่พรางแสง

ผักคะน้าเป็นผักกินใบที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย ในแต่ละปีมีปริมาณการผลิตเป็นจำนวนมากเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของตลาด จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร (2561) รายงานว่าในปีการเพาะปลูก 2560 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกผักคะน้าทั้งหมด 19,655 ไร่ มีเนื้อที่เกี่ยวเกี่ยวผลผลิต 12,010 ไร่ และมีผลผลิตที่เกี่ยวข้องได้ 20,616 ตัน การปลูกผักคะน้าในฤดูแล้งเกษตรกรมักประสบปัญหาการเพาะปลูกตั้งแต่การขาดแคลนน้ำ การระบาดของโรคและแมลงศัตรูสูง และความเข้มแสงกับอุณหภูมิที่สูงเกินไป ทำให้ผลผลิตและคุณภาพของผักคะน้าต่ำ แต่เป็นช่วงเวลาที่ผักคะน้ามีราคาแพง เนื่องจากมีผลผลิตออกสู่ตลาดน้อย ดังนั้นจึงมีเกษตรกรหลายรายยอมเสี่ยงปลูกผักคะน้าในฤดูแล้ง (อภิชาติ และอัมพา, 2556) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าในฤดูแล้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา ระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2559 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. การปลูกและการดูแลรักษา

1.1 การเพาะกล้า เพาะเมล็ดพันธุ์ผักคะน้าตราสามแฉ (บริษัท ฉั่วยงเซ่งพันธุ์พืช จำกัด) ในถาดเพาะกล้า (104 หลุม) ที่ใช้ดินผสม (ดินร่วน + ดินผสมตราล่าตวน อัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร) เป็นวัสดุเพาะ ดูแลรักษาโดยรดน้ำเช้าและบ่าย เมื่อดันกล้ามีอายุ 2 สัปดาห์หลังการเพาะเมล็ดให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร โดยปริมาตร

1.2 การเตรียมแปลงทดลอง เตรียมแปลงปลูกโดยการไถตะ ไถแปร และไถพรวน จากนั้น ยกแปลงปลูกขนาด 1x5 เมตร เว้นระยะระหว่างแปลง 0.50 เมตร ก่อนปลูกใส่ปูนขาวอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน ใส่ปุ๋ยมูลโคอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ คลุกเคล้าให้ทั่วแปลงปลูก ดำเนินการประกอบโครงไม้ไผ่ขนาด 1x5x1 เมตร ที่คลุมหลังคาด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำ สีนํ้าเงิน และสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์เหนือแปลงปลูกตามแผนการทดลอง

1.3 การย้ายปลูก เมื่อดันกล้าผักคะน้ามีอายุ 21 วันหลังเพาะเมล็ด หรือมีใบจริง 2-3 ใบ จึงย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ลงปลูกในแปลงทดลองในเวลาเย็น โดยใช้ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม รวมทั้ง 80 ต้นต่อแปลง ก่อนการย้ายปลูกทำให้ต้นกล้าคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมในแปลงปลูก โดยให้ต้นกล้าได้รับแสงแดดมากขึ้นและรดน้ำน้อยลง 3 วันก่อนย้ายปลูก

1.4 การปฏิบัติดูแลรักษา ให้น้ำแบบฝนเทียมวันละ 2 ครั้ง เช้าและบ่าย และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ใส่ครั้งแรกเป็นปุ๋ยรองพื้นอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ในขั้นตอนการเตรียมแปลงทดลอง ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อต้นกล้ามีอายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูกอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อต้นกล้ามีอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายกล้า เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักคะน้ามีอายุ 45 วันหลังย้ายปลูก

2. การบันทึกข้อมูล

2.1 ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม

2.1.1 ความเข้มแสง วัดปริมาณความเข้มแสงบริเวณแปลงทดลองแต่ละซ้ำของแต่ละวิธีการในช่วงเวลา 11.00-13.00 น. เมื่อท้องฟ้าแจ่มใส จำนวน 5 ตำแหน่ง โดยการใช้เครื่องวัดความเข้มแสง (light meter) รุ่น LX-72, Japan

2.1.2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศบริเวณแปลงทดลองแต่ละซ้ำของแต่ละวิธีการในช่วงเวลา 11.00-13.00 น. เมื่อท้องฟ้าแจ่มใส จำนวน 5 ตำแหน่ง โดยการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (hygro-thermometer) รุ่น DHT-1, Korea ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง

2.1.3 การเจริญเติบโตและผลผลิต บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักคะน้า ได้แก่ จำนวนต้นกล้ารอดตายหลังการย้ายปลูก 15 วัน ความสูงต้น เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนใบ และบันทึกข้อมูลผลผลิต ได้แก่ จำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และผลผลิตต่อไร่ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลและวิจารณ์ผล

1. การเจริญเติบโต

การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์มีจำนวนต้นกล้ารอดตายสูง 83.4 เปอร์เซนต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีน้ำเงิน และสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์ที่มีจำนวนต้นกล้ารอดตาย 76.3 และ 75.9 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ส่วนการปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีจำนวนต้นกล้ารอดตายต่ำสุดเพียง 57.8 เปอร์เซนต์ การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์มีความสูงต้น 30.5 เซนติเมตร ไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีดำและสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์ ที่มีความสูงต้นในระดับเดียวกันคือ 28.0 เซนติเมตร ส่วนการปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีความสูงต้นต่ำสุด 19.1 เซนติเมตร สำหรับการศึกษาจำนวนใบพบว่า การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์มีจำนวนใบสูง 9.4 ใบต่อต้น ไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีดำและสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์ที่มีจำนวนใบ 8.8 และ 8.5 ใบต่อต้นตามลำดับ ส่วนผักคะน้าที่ปลูกโดยการไม่พรางแสงมีจำนวนใบต่ำ 8.3 ใบต่อต้น (Table 1) อย่างไรก็ตาม จำนวนใบของผักคะน้าที่ปลูกโดยไม่พรางแสงไม่ได้มีความแตกต่างทางสถิติกับการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีดำและสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์

การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์มีความยาวใบสูง 20.6 เซนติเมตร รองลงมาคือการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีน้ำเงินและสีดำชนิด พรางแสง 50 เปอร์เซนต์ที่มีความยาวใบ 17.5 และ 17.2 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนการปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีความยาวใบต่ำสุด 14.3 เซนติเมตร การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์ มีความกว้างใบสูง 14.5 เซนติเมตร ในขณะที่การปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีความกว้างใบต่ำเพียง 10.4 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีดำและสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์ที่มีความกว้างใบ 11.1 และ 11.2 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิด พรางแสง 50 เปอร์เซนต์ยังมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ลำต้นสูง 17.6 มิลลิเมตร ส่วนการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซนต์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นต่ำ 13.3 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกภายใต้ตา

ข่ายพรางแสงสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์และการไม่พรางแสงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นอยู่ในช่วง 13.7-14.5 มิลลิเมตร (Table 2)

Table 1 Effect of shading on survival seedling, plant height and number of leaves of Chinese kale in the dry season of Songkhla Province during April to June 2016

Treatment	Survival seedling (%)	Plant height (cm)	Number of leaves (cm)
No shading	57.8 ^b	19.1 ^b	8.3 ^b
Black shade net with 50% shading	75.9 ^a	28.0 ^a	8.8 ^{ab}
Green shade net with 50% shading	83.4 ^a	30.5 ^a	9.4 ^a
Blue shade net with 50% shading	76.3 ^a	28.0 ^a	8.5 ^{ab}
F-test	*	*	*
C.V. (%)	9.6	10.4	6.0

* = significant different at $p \leq 0.05$

Value within a column to followed by the different letters are significantly different by DMRT ($p \leq 0.05$)

Table 2 Effect of shading on leave length, leave width and stem diameter of Chinese kale in the dry season of Songkhla Province during April to June 2016

Treatment	Leave length (cm)	Leave width (cm)	Stem diameter (cm)
No shading	14.5 ^c	10.4 ^b	13.7 ^b
Black shade net with 50% shading	17.2 ^b	11.1 ^b	14.5 ^b
Green shade net with 50% shading	20.6 ^a	14.3 ^a	17.6 ^a
Blue shade net with 50% shading	17.5 ^b	11.2 ^b	13.3 ^b
F-test	*	*	*
C.V. (%)	7.5	11.2	9.9

* = significant different at $p \leq 0.05$

Value within a column to followed by the different letters are significantly different by DMRT ($p \leq 0.05$)

2. ผลผลิต

การปลูกผักคะน้าในทุกกรรมวิธีมีจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้สูงไม่แตกต่างกันทางสถิติอยู่ในช่วง 80.4-92.0 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีแนวโน้มให้จำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้ค่อนข้างต่ำกว่าการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงทั้ง 3 ชนิด การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักสดสูง 93.8 กรัมต่อต้น รองลงมาคือการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายสีดำและสีน้ำเงิน ชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ที่มีน้ำหนักสด 58.9 และ 50.8 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนการปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีน้ำหนักสดต่ำ 35.2 กรัมต่อต้น สำหรับน้ำหนักแห้งพบว่าการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักแห้งสูง 8.1 กรัมต่อต้น ในขณะที่การปลูกผักคะน้าโดยการไม่พรางแสงมีน้ำหนักแห้งต่ำ 3.9 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายสีน้ำเงินและสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ที่มีน้ำหนักแห้ง 4.5 และ 5.1 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนผลผลิตต่อไร่พบว่า การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุด 802.4 กิโลกรัม ส่วนการปลูกผักคะน้าโดยการไม่

พรางแสงให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ 340.6 กิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีดำ และสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่ 530.2 และ 483.4 กิโลกรัม ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Effect of shading on number of harvested plant, fresh weight, dry weight and yield per rai of Chinese kale in the dry season of Songkhla Province during April to June 2016

Treatment	number of harvested plant (%)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Yield per rai (kg)
No shading	88.8	35.2 ^c	3.9 ^b	340.6 ^b
Black shade net with 50% shading	80.4	58.9 ^b	5.1 ^b	530.2 ^b
Green shade net with 50% shading	92.0	93.8 ^a	8.1 ^a	802.4 ^a
Blue shade net with 50% shading	88.4	50.8 ^{bc}	4.5 ^b	483.4 ^b
F-test	ns	*	*	*
C.V. (%)	7.6	17.8	19.6	26.4

ns = non significant; * = significant different at $p \leq 0.05$

Value within a column to followed by the different letters are significantly different by DMRT ($p \leq 0.05$)

วิจารณ์ผล

การปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายสีดำ สีเขียว และสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์มีจำนวนต้นกล้ารอดตาย ความสูงต้น จำนวนใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ และเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นสูงกว่าการปลูกโดยไม่พรางแสง อาจเพราะในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคมของภาคใต้เป็นช่วง ฤดูแล้งที่มีอุณหภูมิสูง โดยในแปลงทดลองที่ไม่มีการพรางแสงมีอุณหภูมิเฉลี่ยในอากาศสูงประมาณ 41.2 องศาเซลเซียส ในขณะที่แปลงทดลองภายใต้การพรางแสงด้วยตาข่ายสีน้ำเงิน สีเขียว และสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในอากาศลดลงเหลือ 40.7 40.2 และ 38.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Figure 1) สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศพบว่าแปลงทดลองที่ไม่มีการพรางแสงมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในอากาศ 61.6 เปอร์เซ็นต์ และแปลงทดลองมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับการพรางแสงด้วยตาข่ายสีน้ำเงิน สีเขียว และสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 63.7 64.1 และ 68.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 2) อุณหภูมิเฉลี่ยในอากาศที่ลดลงและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในอากาศที่เพิ่มขึ้น ส่งเสริมให้ผักคะน้ามีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกโดยไม่พรางแสง สอดคล้องกับผลการศึกษาของคริสสุสพล (2557) ที่รายงานว่าแปลงปลูกบรอกโคลีที่ พรางแสงด้วยตาข่ายสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในอากาศต่ำกว่าแปลงปลูกที่ไม่มีการพรางแสง 0.9-1.1 และ 1.80-2.19 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 6.8 เปอร์เซ็นต์ ทำให้บรอกโคลีที่ปลูกภายใต้ตาข่ายสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์มีจำนวนต้นกล้ารอดตาย ความสูงทรงพุ่ม และความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าการปลูกโดยไม่พรางแสง นอกจากนี้ การพรางแสงด้วยตาข่ายสีดำ สีน้ำเงิน และสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ยังทำให้ความเข้มแสงบริเวณแปลงทดลองลดลงเหลือเพียง 29.8 35.4 และ 42.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสงบริเวณแปลงทดลองที่ไม่ได้รับการพรางแสงซึ่งมีความเข้มแสง 100 เปอร์เซ็นต์ (Figure 3) ทำให้ผักคะน้าที่ปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกโดยไม่พรางแสง พืชที่ได้รับ ความเข้มแสงต่ำสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์สารจิบเบอเรลลิน (gibberellins) ที่ช่วยเร่งการยืดตัวของต้นพืชและขยายพื้นที่ใบของพืชให้ใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสังเคราะห์แสง (Nooprom et al. 2013) ดังนั้นผักคะน้าที่ปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงจึงมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูง สอดคล้องกับผลการศึกษาของคริสสุสพล (2557) ที่รายงานว่าบรอกโคลีที่ปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้งมีความสูงทรงพุ่ม เส้นผ่าศูนย์กลางข้อดอก และน้ำหนักสดต่อต้นสูงกว่าบรอกโคลีที่ปลูกโดยไม่พรางแสง และยังเป็นไปทิศทางเดียวกับผลการศึกษาของวิรัตน์ (2543) เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าที่ปลูกภายใต้ตา

ข่ายพรางแสงแต่ละกรรมวิธี พบว่าการปลูกผักคะน้าภายใต้ตาข่ายสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์มีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการปลูกภายใต้ตาข่ายสีดำและสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สมพร และคณะ (2551) ที่พบว่าผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวมีแนวโน้มความสูงทรงพุ่ม เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่ม และจำนวนใบต่อต้นสูงกว่าการปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีน้ำเงินและการไม่พรางแสง เนื่องจากแสงสามารถลอดผ่านตาข่ายพรางแสงสีเขียวได้มากกว่าตาข่ายพรางแสงสีดำและสีน้ำเงิน ดังนั้นพืชที่ปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวจึงสามารถสังเคราะห์แสงได้มาก และเจริญเติบโตได้ดีกว่าการพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำและสีน้ำเงิน การปลูกผักคะน้าภายใต้ ตาข่ายพรางแสงสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ อาจเพราะเกิดการระบาดของโรคเน่าคอดินสูง (damping off) (Figure 4) จึงทำให้ผักคะน้าบางส่วนมีการเจริญเติบโตช้าและตาย เนื่องจากแสงสามารถลอดผ่านตาข่ายพรางแสงสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ได้น้อยทำให้สภาพแวดล้อมในแปลงปลูกมีความชื้นสูงซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Pythium* sp. ที่เป็นสาเหตุของโรคเน่าคอดิน

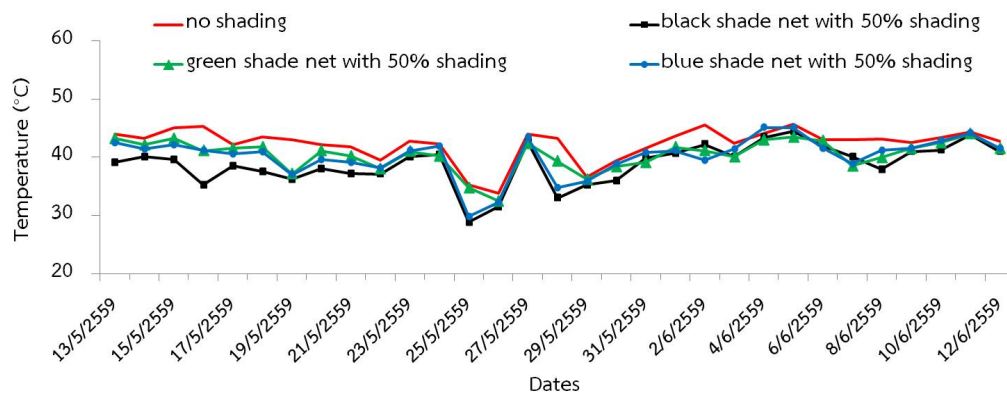


Figure 1 Average temperature in experimental location under different treatments

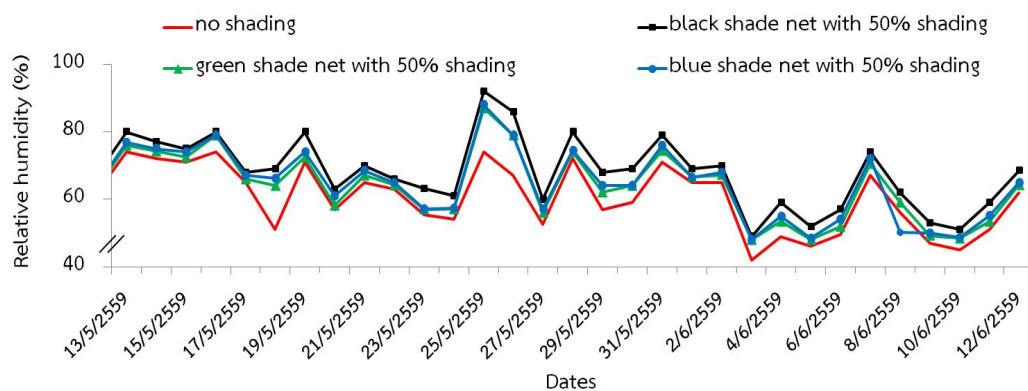


Figure 2 Average relative humidity in experimental location under different treatments

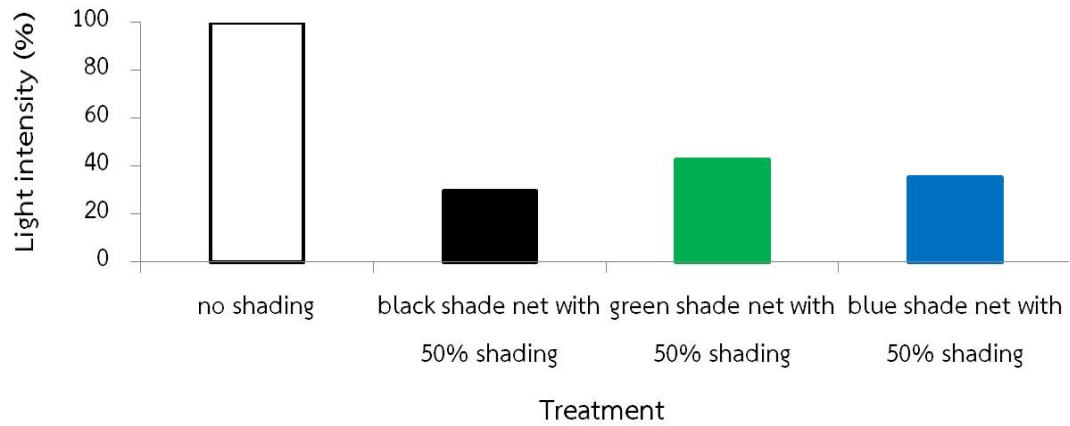


Figure 3 Light intensity in experimental location under different treatments

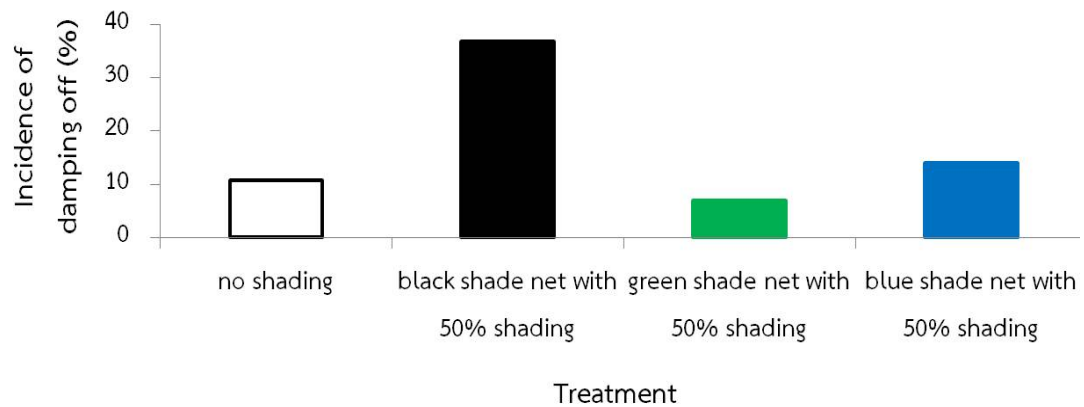


Figure 4 Incidence of damping off in Chinese kale under different treatments

สรุป

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการปลูกผักคะน้าในฤดูแล้งภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีเขียวชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำให้ผักคะน้ามีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าผักคะน้าที่ปลูกภายใต้ตาข่ายพรางแสงสีดำชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ตาข่ายพรางแสงสีน้ำเงินชนิดพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ และการไม่พรางแสง สำหรับในอนาคตอาจเป็นไปได้ที่จะนำวิธีการพรางแสงไปใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มศักยภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักที่ปลูกภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ให้สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2561. รายงานข้อมูลภาวะการผลิตผักคะน้าปี การเพาะปลูก 2560. [http:// production.doae.go.th/report/report_main2.php?report_type=1](http://production.doae.go.th/report/report_main2.php?report_type=1) (เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2561)
- ศรีสุวิมล หนูพรหม. 2557. วันปลูกและการผลิตบรอกโคลีนอกฤดูในจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ศรีสุวิมล หนูพรหม. 2559. หลักการผลิตผัก. สหมิตรพัฒนาการพิมพ์ (1992), กรุงเทพมหานคร.
- วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2543. การเจริญเติบโตและผลผลิตของกะหล่ำดอกที่ปลูกในโรงเรือนตาข่ายภายใต้การพรางแสง 3 ระดับ. เกษตร. 16: 291-300.

- วิรัตน์ ภูวิวัฒน์ และอารดา มาสรี. 2544. การเจริญเติบโตและผลผลิตของกะหล่ำดอกที่ปลูกในช่วงฤดูฝนภายในโรงเรือนตาข่ายพรางแสง. น. 268-274. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 5-7 กุมภาพันธ์ 2544. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สมพร คนยงค์, เฉลิมชัย กลิ่นอยู่, และรัชนิวรรณ จำรัส. 2551. อิทธิพลของตาข่ายพรางแสงสีต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. http://www.repository.rmutt.ac.th/bitstream/handle/123456789/24/RMUTT_Effect%20of%20Different.pdf?sequence=2 (เข้าถึงเมื่อ 3 มกราคม 2560)
- สมยศ มีทา และสังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2551. เทคโนโลยีการจัดการแสงในการผลิตมะเขือเทศผลสดและเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศภายในโรงเรือน. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- อภิชาติ ศรีสะอาด และอัมพา คำวงศา. 2556. คู่มือวางแผนเพาะปลูกผักพื้นฤดูให้รวย. นาคา อินเตอร์มีเดีย, กรุงเทพมหานคร.
- Nooprom, K., Q. Santipracha and S. Te-chato. 2013. Effect of shading and variety on the growth and yield of broccoli during the dry season in southern Thailand. IJPAES. 3: 111-115.

ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศสีดาในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
Effect of Substrates on Growth and Yield of Sida Tomato
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Soilless Culture

อมรรัตน์ ชุมทอง
Amornrat Chumthong

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา 90000
Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang District, Songkhla, 90000
Corresponding author: amorn_3@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศสีดาในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ดำเนินการทดลองที่สถานีปฏิบัติการพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 5 ต้น ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง ดังนี้ 1) ดินผสม (ชุดควบคุม) 2) ทราย : ขุยมะพร้าว (1:1) 3) ทราย : แกลบ (1:1) และ 4) ทราย : ขุยมะพร้าว : แกลบ (1:1:1) จากการทดลอง โดยมีสิ่งทดลอง 1) - 4) พบว่า การใช้ดินผสมให้ผลดีที่สุด โดยประเมินจากความสูง ขนาดทรงพุ่ม และน้ำหนักสดของผลเท่ากับ 122.85 เซนติเมตร 86.80 เซนติเมตร และ 20.37 กรัมต่อผล ตามลำดับ ส่วนการใช้วัสดุปลูกให้ความสูงอยู่ในช่วง 105.46-108.50 เซนติเมตร การใช้ทราย:ขุยมะพร้าว (1:1) มีขนาดทรงพุ่ม และน้ำหนักสดของผล เท่ากับ 85.05 เซนติเมตร และ 17.68 กรัมต่อผล ตามลำดับ และการใช้ ทราย:ขุยมะพร้าว:แกลบ (1:1:1) มีขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักสดของผล และจำนวนผลสูงสุด เท่ากับ 82.30 เซนติเมตร 15.84 กรัมต่อผล และ 34.75 ผลต่อต้น ตามลำดับ

คำสำคัญ: มะเขือเทศ, วัสดุปลูก, การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Abstract

The effect of growing media on growth and yield of Sida tomato in soilless culture was studied at the Horticultural Practice Station, Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang district, Songkhla province. The experiment consisting of 4 treatments was laid out in a Completely Randomized Design (CRD) with 4 replications (5 plants/ replication). The treatments used in this study were comprised of 1) soil based media (control), 2) sand : coconut coir (1:1), 3) sand : rice husk (1:1) and 4) sand : coconut coir : rice husk (1:1:1). The experiments were conducted with 1) - 4), it showed that using the soil based media (control) gave the highest of plant height, canopy width and fresh weight per fruit of 122.85 cm, 86.80 cm and 20.37 g/fruit, respectively. Among the use of growing media gave plant height in the range of 105.46-108.50 cm. Using of the mixture of sand : coconut coir (1:1) gave canopy width and fresh weight per fruit of 85.05 cm and 17.68 g/fruit, respectively. Using of the mixture of sand : coconut coir : rice husk (1:1:1) gave canopy width, fresh weight per fruit and the highest number of fruit of 82.30 cm, 15.84 g/fruit and 34.75 fruits/plant, respectively.

Keywords: Tomato, Substrate, Soilless culture

บทนำ

มะเขือเทศ เป็นพืชผักที่สำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคผลสดกันอย่างแพร่หลาย เป็นเพราะมีคุณค่าทางอาหาร อีกทั้งยังสามารถนำมาจัดทำในรูปผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปต่างๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ และน้ำมะเขือเทศ เป็นต้น (วสันต์, 2544) ในบรรดาพืชผักที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร มะเขือเทศเป็นพืชผักที่โรงงานมีความต้องการเป็นจำนวนมากต่อปี (สำนักงานสถิติการเกษตร, 2559) เนื่องจากมะเขือเทศมีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วย แร่ธาตุ วิตามิน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และอื่นๆ ที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย (ศิริ, 2539; ไฉน, 2542; เมฆ, 2544) นับว่ามะเขือเทศเป็นพืชผักที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางและความต้องการของผู้บริโภคนั้นมีมากตลอดปี

การปลูกมะเขือเทศในวัสดุปลูกโดยทั่วไปในธรรมชาติ มะเขือเทศเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนและดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง มีการระบายน้ำดี มีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.50-7.50 และการปลูกมะเขือเทศบนดินตามธรรมชาติ มักจะประสบกับปัญหาดินมีคุณสมบัติไม่แน่นอนแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ เช่น โครงสร้างดิน ปริมาณธาตุอาหารหรือความสมบูรณ์ต่ำ ความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสม ยุ่งยากต่อการปรับปรุงและเสียค่าใช้จ่ายสูง (สุรพล, 2550) ปัญหาดังกล่าวทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่แน่นอน การปลูกมะเขือเทศในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นวิธีการปลูกพืชที่ใช้หลักการในวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ด้วยการเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน โดยการปลูกพืชบนวัสดุปลูกหรือไม่ต้องมีวัสดุปลูกก็ได้ แล้วมีการเติมสารละลายธาตุอาหารต่างๆ ลงไป ต้นพืชก็สามารถเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้มากกว่าการปลูกพืชบนดิน เพราะการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้ง่าย ปัจจุบันมีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นการค้ามากมาย และวัสดุปลูกที่นิยมใช้กันมากในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ได้แก่ ขุยมะพร้าว ทราย และแกลบ (เรวัตร, 2546; สุพรรณิ และคณะ, 2548; วิไล และคณะ, 2557)

การปลูกในวัสดุปลูกดังกล่าวเหล่านี้ สามารถลดการสูญเสียและประหยัดการใช้น้ำได้มาก หลีกเลี่ยงการปลูกพืชในดินที่มีปัญหา เช่น ดินเค็ม ดินกรด และดินด่าง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืช หลีกเลี่ยงปัญหาโรคที่ติดมากับดิน ทำให้ผลผลิตที่ได้สะอาด ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เมื่อใช้วัสดุปลูกที่ต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

ปลูกมะเขือเทศสีดา พันธุ์ตะวันออก ณ สถานีปฏิบัติการพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทำการทดลอง 4 ซ้ำๆ ละ 5 ต้น ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง คือ 1) ดินผสม (ชุดควบคุม) (ดินร่วน : ทราย : ขุยมะพร้าว : มูลวัว : แกลบ อัตราส่วน 1:1:1:1) 2) ทราย : ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 3) ทราย : แกลบ อัตราส่วน 1:1 และ 4) ทราย : ขุยมะพร้าว : แกลบ อัตราส่วน 1:1:1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. นำเมล็ดมะเขือเทศสีดา มาเพาะในถาดหลุมใช้ดินผสมเป็นวัสดุเพาะกล้า รดน้ำทุกวันเช้าและบ่าย หลังต้นกล้าที่งอกมีอายุได้ 1 สัปดาห์ ทำการให้ปุ๋ยทางใบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เมื่อต้นกล้าอายุ 25 วัน หลังเพาะเมล็ด หรือมีใบจริง 4-5 ใบ ทำการคัดเลือกต้นมะเขือเทศที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แล้วนำไปย้ายลงในกระถางปลูกที่มีวัสดุปลูกในแต่ละสิ่งทดลองภายในโรงเรือนหลังคาพลาสติกใส และเมื่อต้นมะเขือเทศอายุประมาณ 2 เดือน มีการทำค้างเพื่อพวงลำต้น

2. การให้น้ำและธาตุอาหารแก่ต้นมะเขือเทศในรูปของสารละลายธาตุอาหาร ตามสูตรของสุรพล (2550) โดยแยกแม่ปุ๋ยออกเป็น 2 ประเภท คือ แม่ปุ๋ย A ประกอบด้วย Calcium nitrate 210 กรัม และ Iron chelate 2.49 กรัม และแม่ปุ๋ย B ประกอบด้วย Mono-ammonium Phosphate 4.17 กรัม Mono-potassium Phosphate 29.75 กรัม Potassium nitrate 157 กรัม Magnesium sulphate 107 กรัม และ Trace element 4.0 กรัม นำแม่ปุ๋ย A และแม่ปุ๋ย B ผสมกับน้ำสะอาดอย่างละ 200 เมื่อจะใช้ให้น้ำสารละลายจากแม่ปุ๋ย A และแม่ปุ๋ย B ที่ผสมเป็นสารละลายแล้วนำมาผสมให้เข้ากัน ในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปรดต้นมะเขือเทศวันละ 2 ครั้ง เช้าและบ่าย ครั้งละ 2 ลิตรต่อต้น

3. การป้องกันกำจัดศัตรูพืช กำจัดวัชพืชเดือนละครั้งโดยใช้วิธีการถอนด้วยมือ การป้องกันกำจัดโรคและแมลง เช่น หนอนเจาะใบและผลมะเขือเทศ โดยใช้วิธีการเกษตรกรรม คือ การจับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของหนอนไปทำลาย และการป้องกันกำจัดโรคใบไหม้ โดยใช้สารกำจัดเชื้อรา คือ ไดฟราแทน ในปริมาณ 5 มิลลิกรัม ผสมน้ำเปล่า 5 ลิตร นำไปฉีดพ่นให้ทั่วต้นมะเขือเทศ

4. ทำการสุ่มบันทึกข้อมูลมะเขือเทศจำนวน 5 ต้นต่อสิ่งทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งมีการบันทึกข้อมูลในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ความสูงของต้น (เซนติเมตร) ทำการวัดจากโคนต้นถึงปลายยอด เมื่อต้นมะเขือเทศอายุ 40 และ 80 วัน หลังย้ายปลูก

4.2 ความกว้างของทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ทำการวัดจากใบที่แผ่ออกทั้งสองด้าน โดยวัดจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง เมื่ออายุ 40 60 และ 80 วัน หลังย้ายปลูก

4.3 น้ำหนักของผล (กรัมต่อผล) ทำการชั่งน้ำหนักผลของแต่ละต้น นำมาชั่งผลมะเขือเทศที่อายุ 80 วัน หลังย้ายปลูก

4.4 จำนวนของผล (ผลต่อต้น) ทำการสุ่มนับผลของมะเขือเทศที่อายุ 80 วัน หลังย้ายปลูก

ผลและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการใช้วัสดุปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศสีดาโดยการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ที่มีผลต่อความสูงของต้น ความกว้างของทรงพุ่ม น้ำหนักของผล และจำนวนของผลมะเขือเทศ พบว่าความสูงเฉลี่ยของต้นมะเขือเทศที่อายุ 40 60 และ 80 วัน หลังย้ายปลูก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) (Table 1) โดยการใช้ดินผสมให้ความสูงของต้นสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79.25 109.00 และ 122.85 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนการใช้วัสดุปลูกอื่นๆ ในการทดลอง มีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 66.75-108.50 เซนติเมตร (Table 1) ในขณะที่เจนจิรา และคณะ (2559) พบว่าวัสดุปลูก ขุยมะพร้าว : ปุ๋ยหมัก (2:1) ทำให้ต้นกล้ามีเปอร์เซ็นต์การรอดตาย GQ2 มีความสูงต้นสูงสุด รองลงมา คือ ถ่านแกลบ : ปุ๋ยหมัก (2:1) กาบมะพร้าวสับ : ถ่านแกลบ : ขุยมะพร้าว : ปุ๋ยหมัก (2:2:2:1) และ กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยหมัก (2:1) ต้นกล้ามีเปอร์เซ็นต์การรอดตาย GQ2 มีความสูงต้นน้อยที่สุด คือ 11.27 9.63 9.00 และ 8.44 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับวิไล และคณะ (2557) พบว่า การเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอร์รี่ในวัสดุปลูกทรายหรือโฟมผสมใบก้ามปูแห้ง อัตรา 1:1 โดยปริมาตร มีความสูงมากที่สุด คือ 82.02 เซนติเมตร ที่อายุ 70 วัน หลังย้ายปลูก ส่วนเรวัตร และคณะ (2548) รายงานว่า วัสดุปลูกที่มีสัดส่วนขุยมะพร้าว : ทรายหยาบ : แกลบดิบ เท่ากับ 1:1:1 มีผลให้ต้นมะเขือเทศเชอร์รี่มีความสูงมากที่สุด คือ 198.61 เซนติเมตร

ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของต้นมะเขือเทศที่อายุ 40 วัน พบว่า ในแต่ละสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อยู่ในช่วง 61.60-70.00 เซนติเมตร (Table 2) ส่วนที่อายุ 60 และ 80 วัน หลังย้ายปลูก พบว่า การใช้ดินผสมให้ความกว้างทรงพุ่มกว้างที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.70 และ 86.70 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ทราย : ขุยมะพร้าว (1:1) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.10 และ 85.05 เซนติเมตร ตามลำดับ และทราย : ขุยมะพร้าว : แกลบ (1:1:1) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.55 และ 82.30 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนการใช้ทราย : แกลบ (1:1) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ 68.20 และ 72.45 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) (Table 2) ในขณะที่เจนจิรา และคณะ (2559) รายงานว่าขุยมะพร้าว : ปุ๋ยหมัก (2:1) ทำให้ต้นกล้ามีเปอร์เซ็นต์การรอดตายมากที่สุด รองลงมา คือ ถ่านแกลบ : ปุ๋ยหมัก (2:1) กาบมะพร้าวสับ : ถ่านแกลบ : ขุยมะพร้าว : ปุ๋ยหมัก (2:2:2:1) และ กาบมะพร้าวสับ : ปุ๋ยหมัก (2:1) มีความกว้างทรงพุ่มน้อยที่สุด คือ 16.11 14.75 13.90 และ 13.58 เซนติเมตร ตามลำดับ

น้ำหนักเฉลี่ยของผลมะเขือเทศเมื่ออายุ 80 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) (Table 3) โดยการใช้ดินผสมให้น้ำหนักของผลมะเขือเทศมากที่สุด คือ 20.37 กรัมต่อผล รองลงมา คือ การปลูกโดยใช้ทราย : แกลบ (1:1) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.68 กรัมต่อผล การปลูกโดยใช้ทราย : ขุยมะพร้าว : แกลบ (1:1:1) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.84 กรัมต่อผล และการปลูกโดยใช้ทราย : ขุยมะพร้าว (1:1) มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักน้อยที่สุด 12.96 กรัมต่อผล (Table 3) ในขณะที่เรวัตร และคณะ (2548) ได้ศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือ

เทศเซอร์โดยไม่ใช้ดิน ประกอบด้วย กลุ่มของวัสดุปลูกผสมในประเทศ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มขุยมะพร้าว และกลุ่มถ่าน แกลบอย่างละ 6 ตำรับการทดลอง โดยใช้ขุยมะพร้าวและถ่านแกลบอย่างละ 1 ส่วนผสมร่วมกับทรายหยาบ 1-3 ส่วนกับแกลบดิบ 1-2 ส่วนโดยปริมาตร เปรียบเทียบกับวัสดุปลูกต่างประเทศ 2 ตำรับการทดลอง คือ ภูมิส และพีทมอส พบว่า น้ำหนักผลดี ผลเสีย ผลผลิตรวม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตำรับการทดลอง

ส่วนจำนวนเฉลี่ยของผลมะเขือเทศเมื่ออายุ 80 วัน พบว่า การปลูกโดยใช้ทราย : ขุยมะพร้าว : แกลบ (1:1:1) ให้จำนวนของผลมะเขือเทศมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.7 ผลต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p \leq 0.01$) (Table 3) กับสิ่งทดลองอื่นๆ รองลงมา คือ การปลูกโดยใช้ดินผสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.75 ผลต่อต้น การปลูกโดยใช้ทราย : ขุยมะพร้าว (1:1) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.75 ผลต่อต้น และการปลูกโดยใช้ทราย : แกลบ (1:1) มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 21.25 ผลต่อต้น (Table 3) ในขณะที่วีไล และคณะ (2557) พบว่า มะเขือเทศเซอร์ที่ปลูกในวัสดุปลูกของทรายผสมใบก้ามปู ทรายผสมขี้เลื่อย โฟมผสมใบก้ามปูในสัดส่วนเท่ากับ 1:1 โดยปริมาตร มีจำนวนผลมากกว่าที่ปลูกในขุยมะพร้าวอย่างเดียว

Table 1 plant height of tomato at 40, 60 and 80 days after transplantin

Treatments	plant height (cm)		
	40 days	60 days	80 days
soil based media (control)	79.25±1.9 ^a	109.00±6.59 ^a	122.85±7.03 ^a
sand : coconut coir (1:1)	73.25±3.58 ^b	95.80±2.91 ^b	105.46±1.82 ^b
sand : rice husk (1:1)	66.75±2.26 ^c	95.85±5.13 ^b	108.50±6.24 ^b
sand : coconut coir : rice husk (1:1:1)	69.60±0.99 ^{bc}	96.65±2.57 ^b	106.75±1.31 ^b
F-test	**	**	**
C.V. (%)	3.29	4.61	4.36

** Means within a column to followed by the same letter are not significantly different by Duncan's Multiple Range Test at $p \leq 0.01$

Table 2 canopy width of tomato at 40, 60 and 80 days after transplanting

Treatments	Canopy width (cm)		
	40 days	60 days	80 days
soil based media (control)	70.00±4.76	81.70±4.64 ^a	86.70±4.64 ^a
sand : coconut coir (1:1)	65.40±4.09	80.10±3.97 ^a	85.05±4.05 ^a
sand : rice husk (1:1)	61.60±3.08	68.20±2.24 ^b	72.45±3.21 ^b
sand : coconut coir : rice husk (1:1:1)	62.70±5.15	77.55±2.61 ^a	82.30±2.71 ^a
F-test	ns	**	**
C.V. (%)	4.61	4.56	4.57

ns = non significant

** Means within a column to followed by the same letter are not significantly different by Duncan's Multiple Range Test at $p \leq 0.01$

จากผลการทดลอง พบว่า การปลูกมะเขือเทศโดยใช้ดินผสม ให้ความสูง ความกว้างทรงพุ่มของต้น และ น้ำหนักสดของผลมะเขือเทศได้ดีที่สุด แต่การปลูกโดยใช้ดินผสมนั้น ทำให้เกิดโรคใบไหม้ (ไม่แสดงข้อมูล) ซึ่งอาจมีผลมาจากดินที่ใช้ในการปลูกมีเชื้อรา *Alternaria solani* เป็นเชื้อราสาเหตุโรคใบไหม้ในมะเขือเทศ ที่สามารถอาศัยอยู่ในดิน และเข้าไปอยู่ในพืชและวัชพืชได้ โดยจะเข้าทำลายใบ ลำต้น และผลของมะเขือเทศ (Dillard et al.,

1995) การปลูกโดยใช้ทรายผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 ให้ความกว้างทรงพุ่มของต้นมะเขือเทศได้ดี แต่ทำให้ต้นมะเขือเทศล้ม เนื่องจากวัสดุปลูกนั้นอัดแน่นเมื่อรดน้ำ มีผลทำให้รากมะเขือเทศไม่สามารถลงลึกได้ และการใช้วัสดุปลูกทรายผสมแกลบ อัตราส่วน 1:1 มีผลทำให้ต้นล้ม ความกว้างของทรงพุ่ม น้ำหนัก และจำนวนของผลมะเขือเทศมีน้อยที่สุด สำหรับการปลูกโดยใช้ทรายผสมขุยมะพร้าวผสมแกลบ อัตราส่วน 1:1:1 มีผลทำให้ต้นมะเขือเทศแข็งแรง ไม่ล้ม ไม่เกิดโรคใบไหม้ และให้จำนวนผลของต้นมะเขือเทศมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัสดุการปลูกดังกล่าว มีส่วนผสมของทรายที่ช่วยระบายน้ำและถ่ายเทอากาศ ไม่มีความต้านทานต่อการเป็นกรดหรือด่าง (มุกดา, 2547) ขุยมะพร้าวซึ่งมีน้ำหนักเบา สามารถดูดซับน้ำได้ดี เนื่องจากมีลักษณะเป็นเส้นใยจึงช่วยให้วัสดุเพาะโปร่งและร่วนซุยมีความยืดหยุ่นตัวดีไม่อัดแน่นง่าย (มุกดา, 2547) และแกลบซึ่งมีน้ำหนักเบา มีความโปร่งสูง มีการดูดน้ำได้ดี ค้ำยึดต้น และมีธาตุอาหาร ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ส่วนผสมไม่อัดแน่น และมีการระบายอากาศ ทำให้รากลงได้ลึก เมื่อต้นโตจะไม่ล้มง่าย และส่วนผสมที่มีการระบายน้ำและอากาศดี ไม่มีความชื้นสะสมมาก ทำให้ไม่เป็นแหล่งสะสมของเชื้อราในดิน จึงลดปัญหาการเกิดโรคได้

Table 3 weight and number of fruit at 80 days after transplanting

Treatments	weigh (g/fruit)	number of fruit (fruit/plant)
soil based media (control)	20.37±0.30 ^a	24.75±0.50 ^b
sand : coconut coir (1:1)	12.96±0.17 ^d	23.75±1.26 ^b
sand : rice husk (1:1)	17.68±0.36 ^b	21.25±0.50 ^c
sand : coconut coir : rice husk (1:1:1)	15.84±0.36 ^c	34.75±1.26 ^a
F-test	**	**
C.V. (%)	1.84	3.66

** Means within a column to followed by the same letter are not significantly different by Duncan's Multiple Range Test at $p \leq 0.0$

สรุป

การศึกษาการใช้วัสดุปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศสีดาโดยการปลูกพืชไม่ใช้ดินสรุปได้ดังนี้

1. ต้นมะเขือเทศที่ปลูกในดินผสม มีความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และน้ำหนักสดของผลมะเขือเทศดีกว่าที่ปลูกในวัสดุปลูกทรายผสมขุยมะพร้าวผสมแกลบ (1:1:1) ทรายผสมขุยมะพร้าว (1:1) และทรายผสมแกลบ (1:1) ตามลำดับ
2. ต้นมะเขือเทศที่ปลูกในวัสดุปลูกทรายผสมขุยมะพร้าวผสมแกลบ (1:1:1) ให้จำนวนผลมะเขือเทศต่อต้นมากกว่าที่ปลูกในดินผสม ทรายผสมขุยมะพร้าว (1:1) และทรายผสมแกลบ (1:1) ตามลำดับ
3. การปลูกมะเขือเทศสีดาโดยใช้วัสดุปลูกทรายผสมขุยมะพร้าวผสมแกลบ (1:1:1) ให้ผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตใกล้เคียงกับการใช้ดินผสม และผลทำให้ต้นแข็งแรง ไม่ล้ม ไม่เกิดโรคใบไหม้ จึงควรนำวัสดุปลูกดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนในด้านสถานที่วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณนายจตุพงศ์ แก้วนพรัตน์ และนางสาวจันจิรา เหล็นเพชร ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ทางการเกษตร และเก็บข้อมูลในเรือนทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธิ์. 2541. มะเขือเทศ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.
- เจนจิรา ชุมภูคา, สิริกาญจนา ตาแก้ว, และณัฐพงศ์ จันจุฬา. 2559. ผลของวัสดุปลูกต่อการงอกของเมล็ด การรอดชีวิต และการเจริญเติบโตของต้นกล้ามันเบอร์รี่พันธุ์เวียดนาม GQ2. Thai Journal of Science and Technology. 5(3): 284-295.
- ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ริ้วเขียว.
- ดิเรก ทองอร่าม. 2550. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. กรุงเทพมหานคร : บริษัทพิมพ์ดีการพิมพ์.
- นภดล เรียบเลิศหิรัญ. 2550. การปลูกผักไร้ดิน. กรุงเทพมหานคร : สุริยาสานการพิมพ์.
- เมฆ จันทรประยูร. 2544. ผักสวนครัว. สำนักพิมพ์ไททรรศน์. กรุงเทพมหานคร.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. วัสดุปลูกไม้ดอกไม้ประดับ. บ้านและสวน. กรุงเทพมหานคร.
- เรวัตร จินดาเจีย. 2546. ศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่โดยไม่ใช้ดินในเขตร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เรวัตร จินดาเจีย, อรุณศิริ กำลิ่ง, จันทรจรัส วีรสาร, และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2548. ศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่โดยไม่ใช้ดิน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 1-4 ก.พ. 2548. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- วันดี ฤกษ์รักษ์. 2544. การปลูกผัก. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน. กรุงเทพมหานคร.
- วินัย สมประสงค์, วัชร ประชาศรีสรเดช, และปราโมทย์ ไตรบุญ. 2545. ศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ของมะเขือเทศ. ว. วิชาการเกษตร : 20 (3): 204-220.
- วิล วณิกกิจเจริญกุล, มนูญ ศิริณพงค์, และสุจิต ส่วนไพโรจน์. 2557. อิทธิพลของวัสดุปลูกอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ CH 154 ปลูกโดยระบบกลับหัว. แก่นเกษตร. 42 (ฉบับพิเศษ 3): 864-869.
- สุพรรณณี สุกรี, มนูญ ศิริณพงค์, และสุจิต ส่วนไพโรจน์. 2548. วัสดุปลูกที่แตกต่างกันต่อการปลูกดาวเรืองในระบบ Nutrient Film Technique (NFT). ว.วิทยาศาสตร์เกษตร. 36 (5-6 พิเศษ): 143-146.
- สุรพล มั่นสเสรี. 2550. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ร่วมกับองค์การบริหารส่วนตำบลลำแดง อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา.
- ศิริ ผาสุก. 2539. ปลูกกินก็ได้ ปลูกขายก็ดี. สำนักพิมพ์อมตะ. โรงพิมพ์บริษัทสหธรรม. กรุงเทพมหานคร.สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. นำเข้า-ส่งออกสินค้าที่สำคัญ สถิติการส่งออก (Export) มะเขือเทศสด หรือแช่เย็น : ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php (เข้าถึงเมื่อ 24 ธันวาคม 2559)
- อภิรักษ์ หลักชัยสกุล. 2540. การศึกษาวัสดุอินทรีย์เป็นวัสดุปลูกพืชในระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Dillard H, D. Cole, T. Hedges, A. Turner, D. Utete, B. Mvere, Agubba and P. Wilkinson. 1995. Early Blight of Tomatoes. Horticultural Crops Pest management. NYSAES, Geneva, New York.

ผลของการติดตั้งไซโคลนที่มีต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม Effect of Cyclone Installation on Performance of Pneumatic Paddy dryer

จิตรรัตน์ จอกแก้ว¹ กระวี ตรีอำรรค^{1*} เทวรัตน์ ตรีอำรรค² และ เกียรติศักดิ์ ใจโต²
Jittrarat Jokkew¹, Krawee Treeamnuk^{1*}, Tawarat Treeamnuk² and Kaitsisak Jaito²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
*Corresponding author: krawee@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งไซโคลนกับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลมที่พัฒนาขึ้นที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ได้ติดตั้งไซโคลน โดยใช้ข้าวหอมมะลิ พันธุ์ 105 เป็นวัสดุตัวอย่างสำหรับการอบแห้ง ทำการทดสอบด้วยข้าวเปลือกครั้งละ 40 kg ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งเท่ากับ 80°C สมรรถนะของเครื่องอบแห้งประเมินจากระยะเวลาอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และอัตราการแห้ง ผลการทดลองพบว่าระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนสามารถลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกได้รวดเร็วกว่าระบบอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งคืออัตราการไหลอากาศ 0.0512 m³/s มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 7.252323 MJ/kg_{water} หากพิจารณาในเชิงคุณภาพข้าวหลังอบแห้งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งคือแบบไม่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0631 m³/s
คำสำคัญ: การอบแห้ง, ข้าวเปลือก, เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม, ไซโคลน

Abstract

This research objective was to study the effect of cyclone installation with the developed pneumatic dryer on the performance of paddy drying by comparing with the dryer without cyclone installation. Thai jasmine rice 105 was selected to be a sample for drying. In experiment, 40 kg of paddy was dried at drying temperature of 80°C. The performance of drying was assessed from drying period, specific energy consumption (SEC) and drying rate. The experimental result showed that the drying system without cyclone can reduce the moisture content of paddy faster than the drying system with cyclone. The appropriate drying condition was performed at air flow rate of 0.0512 m³/s, specific energy consumption of 7.25 MJ/kg_{water}. For considering in term of dried rice quality, the appropriate drying condition of system without cyclone was performed at air flow rate of 0.0631 m³/s.

Keywords: Drying, Paddy, Pneumatic dryer, Cyclone

บทนำ

ข้าว ถือเป็นธัญญาหารหลักในการดำรงชีวิตของชาวไทย รวมถึงประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก เช่น ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ และมาเลเซีย เป็นต้น แต่หลังจากการเก็บเกี่ยวมักจะพบว่าข้าวเปลือกส่วนใหญ่มีความชื้นสะสมสูงมากโดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวในฤดูฝน ทำให้ได้ราคาซื้อขายต่ำและส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าว ดังนั้นการลดความชื้นในระดับที่เหมาะสม จึงเป็นอีกกระบวนการผลิตข้าวที่ต้องให้ความสำคัญ โดยความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษามีค่าประมาณ 14 %db (มาตรฐานแห้ง) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวเปลือกและลดความสูญเสียของข้าวหลังกระบวนการสีข้าว สำหรับการลดความชื้นนั้นมีหลายวิธีการ โดยจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก

วิธีการลด ความชื้นของข้าวเปลือกมีหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การตากแดดในลาน (Sun drying) ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยพลังงานความร้อนจากธรรมชาติ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากใช้เวลานาน ซึ่งเป็น

ผลมาจากความไม่แน่นอนของแสงแดดในแต่ละวัน จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกได้ ส่วนอีกวิธีเป็นการใช้เครื่องอบแห้ง (Artificial drying) มาช่วยในการลดความชื้นของข้าวเปลือก ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้งานได้ทุกสภาวะอากาศ สามารถควบคุมความชื้นได้ตามระดับที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น เครื่องอบแห้งแบบคลุกเคล้าหรือ LSU เป็นเครื่องอบแห้งที่นิยม แต่มีข้อเสียคือจะทำให้คุณภาพของเมล็ดข้าวหลังผ่านการสีต่ำกว่าปกติ ซึ่งส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวตันที่ได้ลดลง เครื่องอบแห้งอีกชนิดคือ เครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบต เป็นวิธีที่ช่วยลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว และทำให้มีความชื้นสม่ำเสมอทั่วเมล็ด แม้จะมีความชื้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือเมล็ดข้าวเปลือกที่ป้อนเข้ามาใหม่มีโอกาสที่จะออกมาโดยไม่ถูกไล่ความชื้นและใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งชนิดอื่น แต่การอบแห้งในระบบเดิมยังต้องใช้พลังงานที่สูงและการทำงานของเครื่องอบแห้งไม่เพียงพอต่อปริมาณข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละวัน ซึ่งปัจจุบันได้มีงานวิจัยเพื่อศึกษาการลดความชื้นของข้าวเปลือกเป็นจำนวนมาก รวมถึงการพัฒนาและปรับปรุงระบบการทำงานของเครื่องอบแห้ง เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการทำงาน โดยใช้พลังงานให้น้อยลงแต่ยังคงมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่ตลาดต้องการ

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะควบคุมที่เหมาะสมในการอบแห้ง สำหรับงานวิจัยนี้มีการควบคุมอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลองและศึกษาที่อัตราการไหลของอากาศ 3 ระดับคือ 0.0451 0.0512 และ 0.0631 m^3/s (ระดับต่างๆ เป็นความเร็วของลมร้อนที่สามารถทำให้ข้าวเปลือกลอยตัวได้) พร้อมทั้งประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางการใช้พลังงานที่มีอยู่ให้เกิดความคุ้มค่า พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมต่อการอบแห้งของข้าวเปลือกมากที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์การทดสอบ

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมมีลักษณะ ดัง Figure 1 เริ่มจากบรรจุข้าวใส่ลงในถังเก็บข้าวเปลือก (1) ข้าวจะไหลเข้าสู่เกลียวป้อน (2) ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไปตามท่อส่ง เพื่อส่งผ่านเข้ามายังห้องอบแห้ง (3) ขณะที่ลมร้อนจากพัดลมความดันสูง (4) จะเป่าอากาศผ่านชุดทำความร้อน (5) เข้าสู่ห้องอบแห้งและผสมกับข้าวเปลือก สำหรับข้าวเปลือกที่แห้งจะเบาขึ้นทำให้ลอยได้สูงขึ้นและไหลไปรวบรวมที่ถังเก็บข้าวเปลือก โดยอุณหภูมิและอัตราการไหลของลมร้อนจะถูกควบคุมด้วยชุดควบคุม (6) และกรณีทดสอบสำหรับระบบอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ไซโคลน (7)

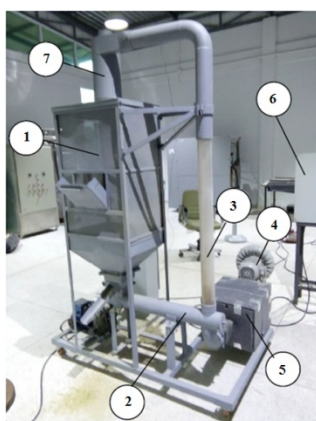


Figure 1 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบ

การทดสอบอบแห้งในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวเปลือกที่ได้หลังกระบวนการเก็บเกี่ยว แล้วนำมาทดสอบทันที ข้าวเปลือกบางส่วนที่ได้ถูกนำมาเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4°C โดยทดสอบ 3 ชั่วโมงทดลองและในแต่ละการทดลองจะมีการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อนำไปหาความชื้นมาตรฐานเปียก และมีการจดบันทึกพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละรอบด้วย (อุปกรณ์ที่ใช้ คือ มัลติมิเตอร์สำหรับใช้วัดกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เกียร์ล้อเลียง, มาตรวัดไฟฟ้าสำหรับวัดพลังงานที่ใช้ในการทำความร้อนและพลังงานที่ป้อนเข้าพัดลมแรงดันสูง) สำหรับการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนั้นจะพิจารณาจากสองส่วน คือประสิทธิภาพเชิงความร้อน และประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งสามารถบอกได้ในรูปของ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) ซึ่งเป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ

$$SEC = \frac{Q_A}{(W_i - W_f)} \quad (1)$$

เมื่อ	SEC	คือ	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kJ/kg _{water})
	Q _A	คือ	พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง (kJ)
	W _i	คือ	น้ำหนักเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือก (g)
	W _f	คือ	น้ำหนักสุดท้ายของเมล็ดข้าวเปลือกหลังอบแห้ง (g)

ในการพิจารณาประสิทธิภาพในการอบแห้งจะประเมินจากค่าอัตราการอบแห้ง (drying rate, DR)

$$DR = \frac{(W_i - W_f)}{hr} \quad (2)$$

เมื่อ	DR	คือ	อัตราการอบแห้ง (kg/h)
	hr	คือ	ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของระบบ (hr)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน} = (\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและข้าวตัน} / \text{น้ำหนักข้าวเปลือก}) \times 100 \quad (3)$$

ผลและวิจารณ์ผล

การศึกษาการทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม มีการทดสอบ 2 วิธี การ คือระบบที่ติดตั้งไซโคลน และระบบที่ไม่ติดตั้งไซโคลน โดยมีผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ระยะเวลาการอบแห้ง

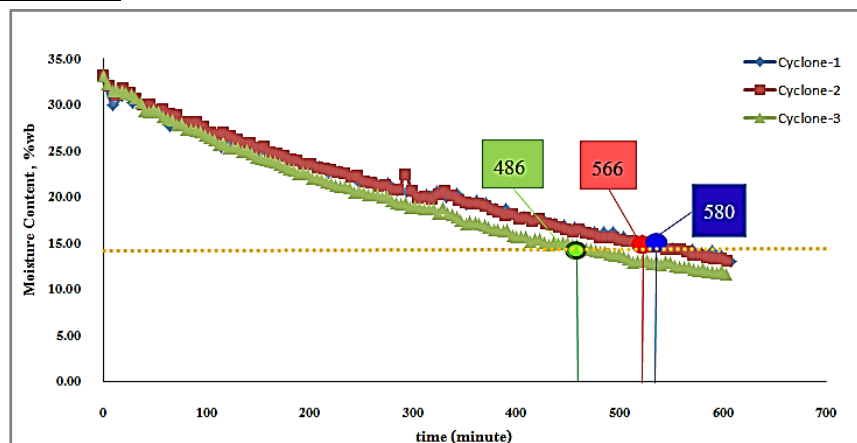


Figure 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน

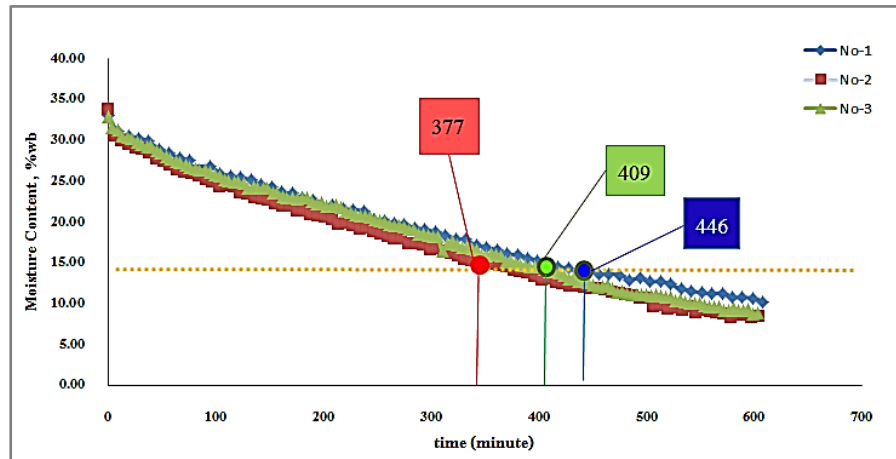


Figure 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน

จาก Figure (3) แนวโน้มการลดลงของความชื้นที่ทุกระดับอัตราการไหลอากาศใกล้เคียงกันมากและไปในทิศทางเดียวกัน ข้อสังเกตที่พบคือ ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนทำให้อากาศร้อนที่พาข้าวเก็บลงสู่ถังเก็บส่วนหนึ่งยังช่วยให้ความร้อนและพาความชื้นออกจากข้าวเปลือกบริเวณผิวด้านบนในถังเก็บได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่ระดับอัตราการไหลอากาศ $0.0512 \text{ m}^3/\text{s}$ ใช้เวลาอบแห้งประมาณ 377 นาที สามารถลดความชื้นได้ตามต้องการ สำหรับระดับของอัตราการไหล $0.0451 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $0.0631 \text{ m}^3/\text{s}$ ใช้เวลาสำหรับการอบแห้ง 446 นาที และ 410 นาที ตามลำดับ ดัง Table 1

Table 1 ผลการทดสอบอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

ระดับ	อัตราการไหลอากาศ (m^3/s)	อัตราการป้อนข้าวเปลือก (kg/min)	เงื่อนไข	ค่าความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือก (%wb)	ค่าความชื้นสุดท้ายข้าวเปลือก (%wb)	เวลาอบแห้ง (min)
1	0.0451	4.10	ติดตั้งไซโคลน	32.89 ± 0.13	13.88 ± 5.19	579.50
			ไม่ติดตั้งไซโคลน	32.96 ± 0.39	13.96 ± 6.28	446.50
2	0.0512	6.35	ติดตั้งไซโคลน	33.21 ± 0.07	14.00 ± 5.47	565.50
			ไม่ติดตั้งไซโคลน	33.68 ± 0.06	14.06 ± 6.60	377.00
3	0.0631	8.45	ติดตั้งไซโคลน	33.09 ± 0.65	14.00 ± 5.91	486.00
			ไม่ติดตั้งไซโคลน	32.88 ± 0.03	13.86 ± 6.61	409.50

2. ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption)

จาก Figure 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จะเห็นว่าค่า SEC สำหรับระบบที่ไม่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ $0.0512 \text{ m}^3/\text{s}$ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกให้ถึง 14 %wb และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานของระบบที่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ $0.0631 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดและใช้เวลาสั้นที่สุดเพื่อลดความชื้นให้ถึงค่าความชื้นสุดท้าย (14 %wb)

การใช้พลังงานของระบบอบแห้งที่ติดตั้งไซโคลน มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมีแนวโน้มที่สังเกตได้คือ ระบบที่ใช้อัตราการไหลอากาศยิ่งสูง แนวโน้มการใช้พลังงานจะมีค่าลดลง เป็นผลที่ได้จากการนำลมร้อนกลับมาใช้อบแห้งต่อภายในถังเก็บข้าวเปลือก (ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน) สามารถช่วยลดพลังงานได้ในทุกระดับอัตราการไหลอากาศ

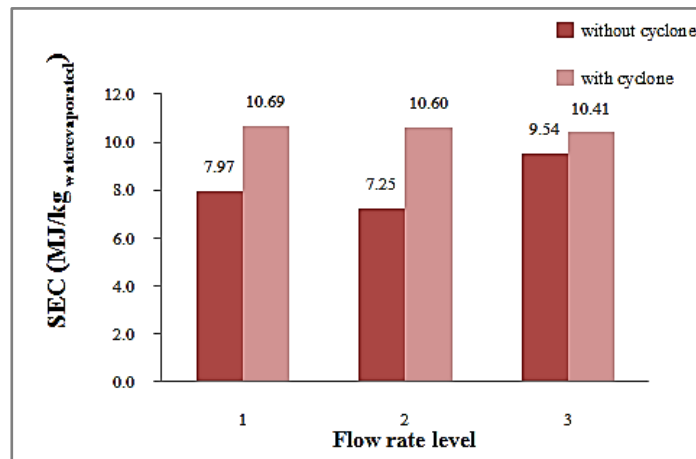


Figure 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับอัตราการไหลของอากาศร้อน

3. อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

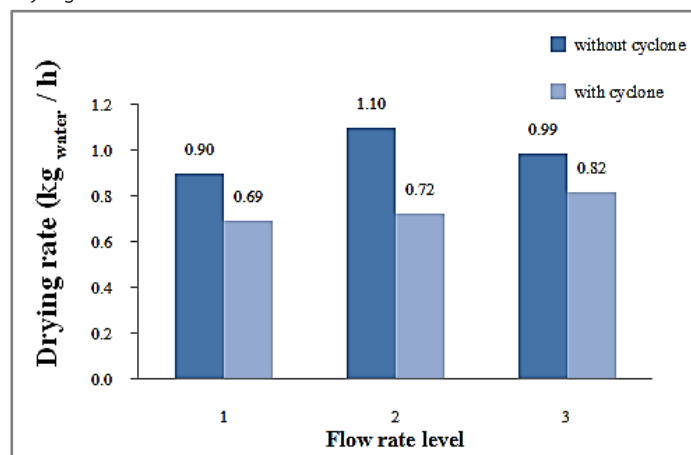


Figure 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความเร็วลม

จาก Figure 5 ระบบอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลนมีแนวโน้มของค่าอัตราการระเหยของน้ำสูงขึ้น เมื่อใช้อัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น และมีค่าที่ต่ำสุดเท่ากับ 0.82 kg/h ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0631 m³/s ในขณะที่ระบบอบแห้งที่ไม่ติดตั้งไซโคลน ได้รับอิทธิพลของการอบแห้งต่อเนื่องกันถึงเก็บข้าวเปลือก ทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นทุกระดับอัตราการไหลอากาศ โดยมีอัตราการอบแห้งที่ดีที่เท่ากับ 1.10 kg/h ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0512 m³/s ซึ่งสอดคล้องกับผลของระยะเวลาการอบแห้งที่กล่าวไว้ข้างต้น

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าทดลองเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม โดยทำการทดลองทั้งระบบที่ติดตั้งไซโคลนและไม่ติดตั้งไซโคลน ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ระบบที่ไม่ติดตั้งไซโคลนสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าระบบที่ติดตั้งไซโคลน เนื่องจากการอบแห้งต่อเนื่องกันถึงเก็บข้าวเปลือก จึงทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น แต่ยังคงมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในระบบลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งคืออัตราการไหลอากาศ 0.0512 m³/s มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 7.25 MJ/kg_{water} หากพิจารณาในเชิงคุณภาพข้าวหลังอบแห้งพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งคือแบบไม่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0631 m³/s

เอกสารอ้างอิง

- กิตติยา กิจควรดี และกัญญา เชื้อพันธุ์. 2545. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร : บริษัทจีรวัฒน์เอ็กซ์เพรส จำกัด.
- เทวรัตน์ ตรีอานรรค และกระวี ตรีอานรรค. 2557. รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาเต็คเบด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 51 หน้า
- เรียวโซ โทเอ. 2525. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. โดยวิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- วทัญญู รอดประพัฒน์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และมนตรี หวังจิ. 2542. ระบบอบแห้งข้าวเปลือกในโรงสี. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.) ปีที่ 33 ฉบับที่ 1: 126-133.
- Jame E. Wimberly. 1983. Drying Technical Handbook for the paddy Rice Postharvest Industry in Developing Countries. International Rice Researcher Institute. Los Banos, Laguna, Philippines.
- Somchaet Soponronnarit. 1995. Solar drying in Thailand. Energy for sustainable development. Vol.2, pp. 19-25.
- Chatchai Nimmol and Sakamon Devahastin. 2010. Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy., Applied Thermal Engineering 30 (2010) 2204-2212.
- M.S.H. Sarker, M. Nordin Ibrahim, N. Ab. Aziz and P. Mohd. Salleh. 2014. Energy and rice quality aspects during drying of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer. Energy Conversion and Management 77 (2014) 389-395.
- S. Prachayawarakorn, S. Ruengnarong and S. Soponronnarit. 2006. Characteristics of heat transfer into dimensional spouted bed, Journal of feed engineering, Vol.76, pp. 327-333.
- W. Rordprapat, A. Nathakaranakule, W. Tia and S. Soponronnarit. 2005. Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam, Journal of food engineering, Vol.71, pp. 28-36.
- N. Meeso, A. Nathakaranakule, T. Madhiyanon and S. Soponronnarit. 2004. Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying. Journal of food engineering, Vol.65, pp. 293-301.

การออกแบบและทดลองเครื่องเคลือบแบบสเปรย์ฟลูอิดไซ์เบดสำหรับการควบคุมเชื้อราในข้าวเปลือก Design and Experiment of Spray Fluidized Bed Coating Machine for Fungus Controlling in Paddy

ชัยวัฒน์ รัตนชัยสกุล^{1*} จารุวิทย์ รักขุนสง¹ นนทกร พรหมรักษ์¹ นกนต นกแก้ว¹ นฤปดี ศรีสังข์¹
พรประพา คงตระกูล¹ ธัชพล จุ่งเจริญ¹ และนิตยา จันกา²
Chaiwat Rattanamechaikul^{1*}, Jaruwit Rakkhunsong¹, Nonthakorn Promrak¹, Napon Nokkaew¹,
Naruebodee Srisang¹, Pornprapa Kongtragoul¹, Thatchapol Chungcharoen¹ and Nittaya Junka²

¹สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

²มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม

¹King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus

² Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom

*Corresponding author: rat.chaiwat@gmail.com

บทคัดย่อ

นาโนซิงค์ออกไซด์นอกจากเป็นสารเคมีที่ไม่เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในอาหารได้ดีอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประยุกต์ใช้เทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไซ์เบดชนิดฉีดพ่นจากด้านบน เคลือบข้าวเปลือกสายพันธุ์สังข์หยด จากจังหวัดพัทลุงด้วยสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อยับยั้งเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา การทดสอบใช้สภาวะการฉีดพ่นที่อุณหภูมิ อัตราและระยะเวลาในช่วง 50 60 และ 70°C, 34 40 และ 46 ml/min และ 5 10 และ 15 min ตามลำดับ ผลทดสอบการยับยั้งเชื้อราด้วยวิธี Agar plate method การทดลองพบว่าสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถชะลอการเจริญเติบโตของเส้นใยและการเกิดสปอร์ของเชื้อรา โดยสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดพ่นของการทดลองนี้คือการใช้อุณหภูมิ อัตราและระยะเวลา ที่ 50°C 40 ml/min และ 5 min ตามลำดับ ที่สภาวะดังกล่าวนอกจากใช้พลังงานในกระบวนการเคลือบต่ำที่สุดแล้วยังส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละต้นข้าวมีค่าสูงกว่าข้าวเปลือกอ้างอิงที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ

คำสำคัญ : ข้าวเปลือก, เชื้อรา, นาโนซิงค์ออกไซด์, ฟลูอิดไซ์เบดชนิดฉีดพ่นจากด้านบน

Abstract

A nano zinc oxide is not only a nutrient, which not negatively affects human health, it also well control fungus growing in food. This research work was therefore applied that oxide solution to coat a paddy, Sungyod variety from Phatthalung province, by top-spray fluidized bed technique for fungus controlling during storage. The coating conditions had the ranges of temperature, spray rate and duration time of 50, 60 and 70°C, 34, 40 and 46 ml/min and 5, 10 and 15 min, respectively. The results revealed that the nano zinc oxide solution could retard growing of hypha and spores of fungus tested quality by agar plate method. The temperature, spray rate and duration time of 50°C, 46 ml/min and 5 min, respectively, was appropriate coating condition. At this condition, it had the lowest energy consumption used for coating process and positively affected the head rice yield percentage compared with the referent paddy.

Keywords: Paddy, Fungus, Nano zinc oxide, Top-spray fluidized bed

บทนำ

ข้าวเป็นธัญพืชที่สำคัญต่อการบริโภคและเป็นพืชเศรษฐกิจส่งออกที่สร้างรายได้แก่ประเทศ ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวก่อนจะนำไปใช้ประโยชน์พบว่าข้าวเกิดความเสียหายจากเชื้อรา โดยเชื้อราที่พบในข้าวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ Field fungi เป็นราที่ติดมากับเมล็ดในระหว่างช่วงที่ข้าวเจริญเติบโตแต่ยังไม่มีกรเก็บเกี่ยว และ Storage fungi เป็นราที่พบในช่วงระหว่างการเก็บรักษา [1] ซึ่งเชื้อราที่พบในระหว่างเก็บรักษาจะเป็นเชื้อราในกลุ่ม Storage fungi ได้แก่ *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, และ *Mucor* [2]

ในปัจจุบันการยับยั้งเชื้อราในพืชทำได้โดยการใช้สารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคในอาหาร และไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ [3] He et al. ได้ศึกษาการยับยั้งเชื้อราด้วยสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์โดยพบว่าโครงสร้างของเส้นใยมีการเปลี่ยนแปลงจากผิวเรียบเป็นผิวขรุขระแสดงถึงการเกิดความเสียหายของสปอร์ ดังนั้นสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบแบบฟลูอิดิกส์เบดและได้ออกแบบการติดตั้งให้หัวฉีดอยู่ด้านบนของห้องอบแห้ง โดยหลักการทำงาน คือ ใช้ลมเป่าข้าวเปลือกที่อยู่บนเบดให้เกิดการลอยตัวเหมือนของไหลในอากาศขณะเดียวกันหัวฉีดจะพ่นสารละลายลงมาให้เป็นฝอยละอองลงบนผิวของข้าวเปลือก โดยมีวัตถุประสงค์ให้เกิดการอบแห้งและเคลือบสารละลายไปพร้อมๆ กันซึ่งภายหลังการทดสอบจะทำให้ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิ อัตราฉีดพ่นและระยะเวลาฉีดพ่นที่มีต่อร้อยละต้นข้าวกล้องและคัดเงื่อนไขที่ให้คุณภาพข้าวสูงเพื่อทดสอบการยับยั้งเชื้อราด้วยสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์และตรวจสอบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้กับเครื่องเคลือบและอบแห้งแบบฟลูอิดิกส์เบดชนิดฉีดพ่นจากด้านบน [4]

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การทดสอบหาคุณภาพข้าวเปลือก

1.1 การหาค่าความชื้นของข้าวเปลือก นำข้าวเปลือกเคลือบสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นระยะเวลา 72 hr แล้วคำนวณน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้วยค่าแตกต่างระหว่างก่อนอบและหลังอบ

1.2 การหาเปอร์เซ็นต์ร้อยละต้นข้าวกล้อง (Head brown rice yield) นำตัวอย่างข้าวเปลือกเคลือบสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกาะเกาะเปลือกแล้ว 200 g ไปคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดด้วยเครื่อง Indent cylinder

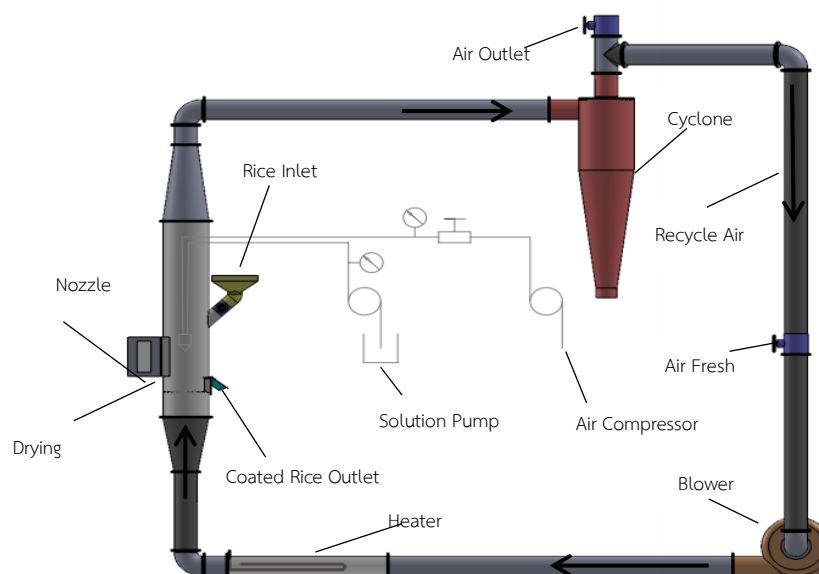


Figure 1 เครื่องเคลือบแบบสเปรย์ฟลูอิดิกส์เบดชนิดฉีดพ่นจากด้านบน

2. การออกแบบและวิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบห้องอบแห้งเพื่อติดตั้งระบบฉีดพ่นและติดตั้งไซโคลนสำหรับดักจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับอากาศ ความเร็วลมที่ใช้คือ 7.81 m/s ห้องอบแห้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 100 cm ภายในติดตั้งหัวฉีดแบบของไหลสองชนิด อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 21 cm วัสดุจะถูกเป่าให้ลอยขึ้นด้วยอากาศ สารเคลือบจะถูกฉีดพ่นเป็นละอองฝอย ซึ่งหยดละอองฝอยจะไหลด้านกับการไหลของอากาศ ก่อนจะเคลือบผิวของวัสดุ เครื่องที่ออกแบบมีลักษณะการทำงานแบบวงวน ผลิตข้าวเคลือบครั้งละ 1.8 kg

2.2 การทดลองเริ่มจากการเตรียมสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.4 g/น้ำกลั่น 1 l เพื่อฉีดพ่นข้าวเปลือกสายพันธุ์สังข์ โดยความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกอยู่ที่ 12-14 %w.b. อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการทดลอง 50 60 และ 70°C อัตราการฉีดพ่นสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ 34 40 และ 46 ml/min ด้วยความดันที่ป้อนให้กับหัวฉีด 1.5 bar ระยะเวลาที่ฉีดพ่นเคลือบสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ 5 10 และ 15 min เมื่อหยุดพ่นสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์แล้วอบแห้งต่อไปอีก 5 s โดยบรรจุข้าวเปลือกให้มีความสูงเบดที่ 10 cm

2.3 การทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus* sp. ด้วยเครื่องเคลือบสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์แบบสเปรย์ฟลูอิดซ์เบดบนเมล็ดข้าวเปลือกด้วยวิธี Tissue transplanting technique [5]

2.3.1 การเตรียมเมล็ดข้าวเปลือก เตรียมเมล็ดข้าวเปลือกสายพันธุ์สังข์สดโดยทำการฆ่าเชื้อด้วยการแช่ใน สารละลาย Clorox® ที่ความเข้มข้น 10% นาน 5 min แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นนำมาซับด้วยกระดาษกรองที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อให้แห้งและผึ่งให้เมล็ดแห้งภายในตู้ Laminar air flow เพื่อทำการปลูกเชื้อต่อไป

2.3.2 การเตรียมสปอร์เชื้อรา *Aspergillus* sp. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) จำนวน 1 l ประกอบด้วย Dextrose 20 g agar 15 g และ Potatoes infusion 200 g ผสมกับน้ำกลั่น 1 l นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 min เพื่อนำมาเลี้ยงเชื้อรา *Aspergillus* sp. จากนั้นร่อนจนเชื้อราผลิตสปอร์ ใช้เวลาประมาณ 7 วัน จึงทำการเตรียมสปอร์แขวนลอย ปริมาณ 1×10^6 Spore/ml

2.3.3 การปลูกสปอร์เชื้อรา *Aspergillus* sp. บนเมล็ดข้าว นำสปอร์แขวนลอยที่เตรียมจากข้อ 2.3.2 ฉีดพ่นลงบนเมล็ดข้าวที่เตรียมไว้จากข้อ 2.3.1 และทำการบ่มเชื้อไว้เป็นเวลา 24 hr หลังจากนั้นจึงนำไปฉีดพ่นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องเคลือบแบบสเปรย์ฟลูอิดซ์เบดตามขั้นตอน 2.2

2.3.4 การตรวจสอบเชื้อรา *Aspergillus* sp. บนเมล็ดข้าวเปลือกด้วยวิธี Agar plate method นำเมล็ดข้าวจากข้อ 2.3.3 มาตรวจสอบการติดเชื้อราบนอาหาร Water agar (WA) ประกอบด้วย Agar 16 g ผสมกับน้ำกลั่น 1 l ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 15 min ทำการตรวจนับเชื้อรา 2 ช่วงเวลา คือ 0 hr และ 48 hr โดยทำการฆ่าเชื้อเมล็ดด้วย สารละลาย Clorox® ที่ความเข้มข้น 10% นาน 2-3 min และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ และซับเมล็ดให้แห้งภายในตู้ Laminar air flow และทำการวางเมล็ดข้าวเปลือกบนจานอาหาร WA จำนวน 10 เมล็ดต่อจานอาหาร ทำสภาวะฉีดพ่นละ 4 ซ้ำ จากนั้นบันทึกผลการทดลอง 3 5 และ 7 วัน เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการติดเชื้อราได้จากสมการที่ 2.1

$$\% \text{ การเจริญของเชื้อรา} = \frac{(\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด} \times 1)}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \quad (2.1)$$

ผลและวิจารณ์ผล

จากผลการทดลองการยับยั้งเชื้อราโดยการฉีดพ่นสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการเคลือบและอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดชนิดฉีดพ่นจากด้านบนพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราฉีดพ่นและระยะเวลาฉีดพ่นมีผลต่อความชื้น ร้อยละต้นข้าวกล้อง ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา และค่าพลังงาน ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดสอบต่อคุณภาพข้าวได้ดังนี้

1. ความชื้นของข้าวเคลือบนาโนซิงค์ออกไซด์

จาก Table 1 สังเกตได้ว่าที่อัตราฉีดพ่นเดียวกัน ระยะเวลาฉีดพ่นเท่ากัน อุณหภูมิที่ 70°C จะส่งผลให้ความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าอุณหภูมิ 60°C และอุณหภูมิ 50°C ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งที่สูงการถ่ายเทความร้อนในอากาศจึงส่งผลให้เมล็ดข้าวที่ได้รับความร้อนสูงเกิดการแพร่ของความชื้นและระเหยออกที่ผิวของเมล็ดได้เร็วกว่าอุณหภูมิมอบแห้งที่ต่ำ [6] จากนั้นพบว่าที่อัตราฉีดพ่น 46 ml/min มีค่าความชื้นสุดท้ายสูงกว่าอัตรา

ฉีดพ่นที่ 40 ml/min และ 34 ml/min ตามลำดับ เนื่องจากเมล็ดข้าวได้รับความร้อนจากอุณหภูมิอบแห้งทำให้ความชื้นภายในเมล็ดเกิดการระเหยส่งผลให้สภาวะการทดลองที่อัตราฉีดพ่นสูงจะมีปริมาณความชื้นสุดท้ายเหลืออยู่ภายในเมล็ดมากกว่าสภาวะการทดลองที่มีอัตราฉีดพ่นต่ำ นอกจากนี้ระยะเวลาฉีดพ่นที่ต่างกันยังส่งผลต่อค่าความชื้นสุดท้ายโดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C อัตราฉีดพ่นที่เท่ากัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาฉีดพ่นจะส่งผลให้ค่าความชื้นสุดท้ายมีค่าสูงพบว่าที่ระยะเวลาฉีดพ่น 15 min ให้ค่าความชื้นสุดท้ายสูงกว่า 10 min และ 5 min ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 50°C มีค่าต่ำกว่าความชื้นที่เพิ่มเข้าไปส่งผลให้เมื่อเพิ่มระยะเวลาฉีดพ่นปริมาณน้ำที่สะสมในเมล็ดจึงมีมากขึ้น และที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C และ 70°C พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาฉีดพ่นค่าความชื้นสุดท้ายมีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 60°C และ 70°C มีค่าสูงกว่าความชื้นที่เพิ่มเข้าไปส่งผลให้เมื่อเพิ่มระยะเวลาฉีดพ่นจึงทำให้ความชื้นภายในเมล็ดระเหยออกตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

Table 1 แสดงค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเคลือบนาโนซิงค์ออกไซด์

Temperature (°C)	Spray rate (ml/min)	Time (min)	After spray (s)	Moisture (%w.b.)
50	34	5		12.51
		10	5	12.61
		15		12.71
	40	5		12.54
		10	5	13.60
		15		14.44
	46	5		13.69
		10	5	15.63
		15		16.31
60	34	5		11.23
		10	5	10.88
		15		10.01
	40	5		12.00
		10	5	11.94
		15		11.90
	46	5		12.40
		10	5	12.37
		15		12.14
70	34	5		10.25
		10	5	9.58
		15		8.97
	40	5		10.23
		10	5	9.69
		15		9.00
	46	5		10.61
		10	5	10.40
		15		9.82

2. ร้อยละต้นข้าวกล้องเคลือบนาโนซิงค์ออกไซด์

จาก Table 2 ผลของอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C ส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวกล้องมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 60°C และ 70°C ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำ เมื่อนำ

เมล็ดข้าวไปกะเทาะเปลือกออกพบว่าสภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิสูงให้ค่าร้อยละต้นข้าวกล้องที่ต่ำ [7] นอกจากนี้ยังค้นพบว่าที่อัตราฉีดพ่น 34 ml/min ให้ค่าร้อยละต้นข้าวกล้องต่ำกว่าอัตราฉีดพ่น 40 ml/min และ 46 ml/min เพราะอัตราฉีดพ่นที่ต่ำปริมาณน้ำที่สะสมภายในเมล็ดข้าวน้อยจึงทำให้ความชื้นภายในเมล็ดต่ำ เมื่อนำไปกะเทาะเมล็ดเกิดการแตกหักของเมล็ดจนส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวกล้องมีค่าต่ำ [7] จากนั้นการเพิ่มระยะเวลาฉีดพ่นส่งผลต่อค่าร้อยละต้นข้าวกล้องโดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาฉีดพ่นส่งผลให้ค่าร้อยละต้นข้าวกล้องมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C และ 70°C การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาฉีดพ่นจะส่งผลให้ค่าร้อยละต้นข้าวกล้องมีค่าลดลง เนื่องจากอุณหภูมิ 50°C มีปริมาณความชื้นมากขึ้นจึงมีค่าร้อยละ ต้นข้าวกล้องสูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C และ 70°C พบว่าค่าความชื้นสุดท้ายต่ำเนื่องจากร้อยละต้นข้าวกล้องมีค่าแปรผันโดยตรงกับค่าความชื้นสุดท้ายทำให้ค่าร้อยละต้นข้าวกล้องมีค่าต่ำจึงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความชื้นสุดท้าย

Table 2 แสดงค่าร้อยละต้นข้าวกล้องของข้าวเคลือบนาโนซิงค์ออกไซด์

Temperature (°C)	Spray rate (ml/min)	Time (min)	After spray (s)	HBRY (%)
50	34	5		48.41±0.04 ^k
		10	5	48.45±0.04 ^{ij}
		15		48.94±0.01 ^f
	40	5		49.75±0.01 ^e
		10	5	50.59±0.03 ^d
		15		51.48±0.01 ^b
	46	5		50.60±0.02 ^d
		10	5	51.09±0.03 ^c
		15		51.65±0.02 ^a
60	34	5		47.42±0.03 ^m
		10	5	46.14±0.01 ⁿ
		15		45.22±0.04 ^p
	40	5		48.71±0.02 ^f
		10	5	48.39±0.04 ^{jk}
		15		48.26±0.09 ^l
	46	5		48.89±0.03 ^f
		10	5	48.52±0.10 ^{hi}
		15		48.35±0.03 ^k
70	34	5		43.15±0.01 ^t
		10	5	42.45±0.09 ^v
		15		40.50±0.06 ^x
	40	5		44.02±0.16 ^r
		10	5	43.81±0.01 ^s
		15		41.31±0.02 ^w
	46	5		45.49±0.10 ^o
		10	5	44.17±0.11 ^q
		15		42.93±0.03 ^u

3. การยับยั้งเชื้อราจากนาโนซิงค์ออกไซด์

จากการทดลองได้เลือกสภาวะฉีดพ่นที่ให้คุณภาพของข้าวเปลือกโดยพิจารณาจากค่าความชื้น และร้อยละต้นข้าวกล้อง ดีที่สุด 3 สภาวะฉีดพ่น คือ สภาวะฉีดพ่นที่ 1 อุณหภูมิอบแห้ง 50°C อัตราฉีดพ่น 40 ml/min ระยะเวลาฉีดพ่น 5 min สภาวะฉีดพ่นที่ 2 อุณหภูมิอบแห้ง 50°C อัตราฉีดพ่น 40 ml/min ระยะเวลาฉีดพ่น 10 min และสภาวะฉีดพ่นที่ 3 อุณหภูมิอบแห้ง 50°C อัตราฉีดพ่น 46 ml/min ระยะเวลาฉีดพ่น 5 min พร้อมกับชุดควบคุม 2 กรรมวิธี คือ ชุดไม่ทำการปลูกเชื้อรา ไม่ฉีดพ่นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และชุดทำการปลูกเชื้อรา ไม่ฉีดพ่นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ศึกษาพร้อมกับเวลาการบ่มหลังฉีดพ่นเป็นเวลา 48 hr โดยใช้แผนการทดลองแบบ 5*2 Factorial in completely randomize design (CRD) จากการตรวจนับการเกิดเชื้อราเมื่อเวลา 3 5 และ 7 วันพบว่าสภาวะการทดลองกับเวลาการบ่มหลังฉีดพ่นมีปฏิสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวดตลอดทั้ง 3 ช่วงเวลาการตรวจนับดังแสดงใน Table 3

จากการตรวจนับในวันที่ 3 พบว่าการฉีดพ่นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเครื่องฟลูอิดซ์เบต สภาวะที่ 3 สภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2 หลังจากการฉีดพ่นบ่มข้าวเปลือกไว้เป็นเวลา 48 hr มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งเชื้อราดีที่สุด คือ 87.5 ± 9.6 85 ± 12.9 และ 82.5 ± 9.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ วันที่ 5 พบว่าที่สภาวะที่ 3 หลังจากการฉีดพ่นบ่มข้าวเปลือกไว้เป็นเวลา 48 hr มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งเชื้อราสูงที่สุด คือ 77.5 ± 18.93 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 1 คือ 57.5 ± 15 และ 52.5 ± 17.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในวันที่ 7 พบว่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการติดเชื้อมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยที่สภาวะที่ 3 สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 1 หลังจากการฉีดพ่นบ่มข้าวเปลือกไว้เป็นเวลา 48 hr มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งเชื้อรา คือ 35 ± 17.32 25 ± 10 และ 27.5 ± 9.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลองยับยั้งเชื้อราด้วยการเคลือบสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้เทคนิคฟลูอิดซ์เบต ชนิดฉีดพ่นจากด้านบน พบว่าสามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus* sp.ได้ เนื่องจาก นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถเข้าไปทำลายโครงสร้างเส้นใยของสปอร์ให้เกิดความเสียหาย [8]

Table 3 ผลของข้าวเปลือกที่ฉีดพ่นสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องเคลือบแบบสเปรย์ฟลูอิดซ์เบต

nano-ZnO application	incubation time	Percentage inhibition			
	after spray	3 days	5 days	7 days	
	48 hr.				
non-pathogen		100.0 ± 0.0^a	100.0 ± 0.0^a	100.0 ± 0.0^a	
pathogen		0.0 ± 0.0^d	0.0 ± 0.0^c	0.0 ± 0.0^c	
50°C 40ml/min 5min		85.0 ± 12.9^{ab}	52.5 ± 17.1^b	27.5 ± 9.6^b	
50°C 40ml/min 10min		82.5 ± 9.6^{abc}	57.5 ± 15.0^b	25.0 ± 10.0^b	
50°C 46ml/min 5min		87.5 ± 9.6^{ab}	77.5 ± 18.9^{ab}	35.0 ± 17.3^b	
nano-ZnO application (A)		**	**	**	
incubation time after spray (B)		**	**	**	
A*B		**	**	**	
CV (%)		11.97	25.52	28.22	

* Significant difference at $P < 0.05$

** Significant difference at $P < 0.01$

Means within column followed by the same letters are not significantly different as determined by least significant difference test at $P < 0.01$

4. การสิ้นเปลืองพลังงาน

จากค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองการยับยั้งเชื้อราด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบตชนิดฉีดพ่นจากด้านบน ทำให้เลือกสภาวะฉีดพ่นที่ผ่านการศึกษากการยับยั้งเชื้อรา โดยพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C อัตราฉีดพ่น

40 ml/min ระยะเวลาฉีดพ่น 5 min และ 50°C อัตราฉีดพ่น 46 ml/min ระยะเวลาฉีดพ่น 5 min มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากัน แต่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C อัตราฉีดพ่น 40 ml/min ระยะเวลาฉีดพ่น 10 min ให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานสูงสุด ดังแสดงใน Table 4 เนื่องจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานมีอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อเวลาในการใช้งานซึ่ง Pump มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานที่น้อยมากทำให้ทั้งสามสถานะมีผลความสิ้นเปลืองพลังงานที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานซึ่งได้จาก Heater และ Blower มีผลแปรผันตรงกับเวลา ทำให้ที่ระยะเวลาอบแห้งที่ 10 min มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานสูง

Table 4 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน

Temperature (°C)	Spray rate (ml/min)	Time (min)	After spray (s)	Heater (MJ/kg)	Blower (MJ/kg)	Pump (MJ/kg)
50	40	5		0.000412	0.000257	0
	40	10	5	0.000823	0.000510	0
	46	5		0.000472	0.000257	0

สรุป

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดชนิดฉีดพ่นจากด้านบนได้ถูกออกแบบและสร้างเสร็จสมบูรณ์ จากการทดสอบใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด ซึ่งผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้ง อัตราฉีดพ่น และระยะเวลาฉีดพ่นส่งผลให้ทุกๆ สถานะการทดลองที่มีค่าความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 11 %w.b. มีผลให้ค่าร้อยละต้นข้าวต่ำกว่าข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการอบแห้ง ในการยับยั้งเชื้อราได้เลือกสถานะการฉีดพ่นสารละลายนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีร้อยละต้นข้าวสูงและพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C อัตราฉีดพ่น 40 ml/min ระยะเวลาฉีดพ่น 5 min มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการติดเชื้อรา *Aspergillus* sp. ได้ดีและมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] อรุณี จันทรสนธิ, อัมพวัน สิมกรัย, ศรีสุดา อนุสรณ์พานิช และมัลลิกา โสภาค. 2523. การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อราที่ติดไปกับเมล็ดข้าวพันธุ์หลัก. กองโรคข้าวกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [2] Neergaard, P. 1997. Seed Pathology. The Mac Millan Press Ltd.London, vol I-II.
- [3] Judith, P., Espitia, P., Fátima, N.D., Soares, F., Dos, J.S., Coimbra, R., José, N., Andrade, D., Cruz, R.S., Antonio, E. and Medeiros, A. 2012. Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Antimicrobial Activity and Food Packaging Applications. Food Bioprocess Technol, vol 5.
- [4] Dewettinck, K., Huyghebaert, A. 1998. Top-spray fluidized bed coating: effect of process variable on coating efficiency. LWT-Food Science and Technology, vol 31.
- [5] รติยา พงศ์พิสุทธิธา ชัยณรงค์ รัตนกรทิกุล และรณภพ บรรเจิดเชิดชู. เชื้อราบนเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แคนเน็กซ์อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น. 2557. หน้า 30-45
- [6] นิตยา จันกา, ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล และเฉลิมชัย วงษ์อารี. 2558. ผลของสตาร์ชเจลาติ-โนซ์เซชันต่อคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวม่วง. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, ปีที่ 14, ฉบับที่ 2, หน้า 58-71
- [7] สุขชาติ ธนสุขประเสริฐ, ธนิต สวัสดิ์เสวี, สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา และสมชาติ โสภณ-รณฤทธิ์. 2555. การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 1-10
- [8] He, L., Liu, Y., Mustapha, A., Lin, M. 2011. Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. Microbiological Research, Vol. 166, No 3, 20, pp. 207-215

**ผลกระทบของอุณหภูมิและความสูงเบดที่ส่งผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง
คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งกาแฟกะลาด้วยเทคนิคฟลูอิดไเซชัน**
**Effects of Temperature and Bed Height on Drying Kinetics, Quality and Energy
Consumption of Parchment Coffee Drying by Fluidization Technique**

นิศากร สารจันทร์¹ ศิริโรจน์ กล่อมจิตร¹ อิศระ สันโดด¹ นฤบดี ศรีสังข์¹ นิตยา จันกา² ธัชพล จุ่งเจริญ¹
และ ชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล^{1*}

Nisakon Sarjun¹, Sirirot Klomjit¹, Isara Sandod¹, Naruebodee Srisang¹, Nittaya Junka²,
Thatchapol Chungcharoen¹ and Chaiwat Rattanamechaikul^{1*}

¹สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
²มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม

¹King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon campus

²Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom

*Corresponding author: rat.chaiwat@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความสูงเบดที่ส่งผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานเมื่อทำการอบแห้งกาแฟกะลาด้วยวิธีฟลูอิดไเซชัน โดยนำกาแฟกะลาที่มีความชื้นประมาณ 60 % wet basis (หรือ %w.b.) มาทำการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90°C 110°C 130°C และ 150°C ความสูงของเบด 4 7 และ 10 cm และที่ความเร็วลมร้อน 9.9 m/s จนความชื้นของกาแฟกะลาลดลงเหลือ 12 % w.b. จากการวิเคราะห์ จลนพลศาสตร์การอบแห้งพบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งและลดความสูงเบดเนื่องจากระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง อีกทั้งยังส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานลดลง แต่ร้อยละการแตกตัวของสารกาแฟมีค่าที่สูงขึ้น ในด้านการวัดสีเมื่อทำการเพิ่ม อุณหภูมิอบแห้งหรือเพิ่มความสูงเบดส่งผลให้ค่าความสว่างของสารกาแฟลดลง อย่างไรก็ตามค่าความสว่างของสารกาแฟในทุกการทดลองมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดกาแฟจากท้องตลาด สภาวะที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 150°C ความสูงเบด 4 cm และในสภาวะการอบแห้งดังกล่าวค่าร้อยละการแตกตัวของ เมล็ดกาแฟกะลามีค่าน้อยที่สุด รวมทั้งยังเป็นสภาวะอบแห้งที่มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด

คำสำคัญ : การอบแห้ง, กาแฟกะลา, ฟลูอิดไเซชัน, ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effects of temperature and bed height on drying kinetics, quality and the energy consumption during drying parchment coffee by fluidized-bed method. In the first of experiment, bring parchment coffee with initial moisture about 60% wet basis (% w.b.) dried at bed temperature of 90, 110, 130 and 150°C at a air velocity of 9.9 m/s until the moisture of parchment coffee was reduced to 12% w.b. each bed was adjusted to a bed height of 4 cm, 7 cm and 10 cm. Based on the drying kinetics analysis, the drying rate increased when increase of the drying temperature and decrease of bed height because of, the drying time was reduced. It also shown that energy consumption decreased, but coffee beans cracking percentage increased. In color measurement, when the drying temperature and bed height increased, the coffee's brightness decrease. However, the coffee in all experiments were higher brightness than black beans from the market. The minimum drying time is 150°C of drying air temperature and 4 cm of bed height and that drying conditions parchment coffee cracking percentage is minimal with the lowest energy consumption.

Keywords: Drying, Parchment coffee, Fluidized-bed, Energy consumption

บทนำ

กาแฟ (Coffee) คือ ผลผลิตทางการเกษตรที่ได้จาก ต้นกาแฟ โดยปัจจุบันกาแฟจัดเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างมากทั่วโลกเนื่องจากรสชาติและกลิ่นที่หอม ในปัจจุบันกาแฟยังนับเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ที่มีพื้นที่เพาะปลูกถึง 269,596 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกมีอยู่ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์โรบัสต้า (Robusta) ที่ปลูกร้อยละ 99 ในพื้นที่ภาคใต้ และอีกร้อยละ 1 คือ พันธุ์อาราบิก้า (Arabica) ที่ปลูกในพื้นที่ภาคเหนือ โดยสาเหตุที่พันธุ์โรบัสต้าเป็นที่นิยมปลูกมากกว่าเนื่องจากกาแฟโรบัสต้าสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีและยังทนทานต่อโรคมากกว่ากาแฟอาราบิก้า (นันทวัชร, 2547) ประเทศไทยนั้นถูกจัดเป็นประเทศที่ผลิตกาแฟพันธุ์โรบัสต้าที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศโดยผลผลิตกาแฟโรบัสต้าส่วนใหญ่จะถูกแปรรูปเป็นกาแฟกระป๋อง หรือกาแฟสำเร็จรูปเสียส่วนใหญ่ ทำให้คุณภาพของเมล็ดกาแฟนั้นเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นเมล็ดแตกร้าว เมล็ดดำ ขั้นตอนการผลิตกาแฟจนได้เมล็ดกาแฟนั้นมีหลายขั้นตอนแรกเริ่มเมื่อได้ผลกาแฟสดต้องนำมาสีเพื่อให้ได้เมล็ดกาแฟสาร โดยการสีเพื่อให้ได้กาแฟสารนั้นมี 2 วิธี คือ การสีแห้ง (Dry Process) ทำโดยการนำผลกาแฟสดที่แห้งแล้วนำมาสีเปลือกออกจะได้เมล็ดกาแฟสาร และอีกวิธีคือการสีเปียก (Wet Process) วิธีนี้จะนำผลกาแฟสดที่ได้มาแช่น้ำเพื่อคัดเมล็ดกาแฟที่เสีย เมื่อคัดแยกเสร็จแล้วจะนำเมล็ดกาแฟสดที่เหลือมาสีเปลือกออกจนได้เมล็ดกาแฟกะลา (Parchment Coffee) (คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้), 2558)

กาแฟกะลาคือผลกาแฟที่เปลือกเปลือกแข็งออกจนเหลือเมล็ดกาแฟที่มีเยื่อกะลาบางๆหุ้มอยู่ โดยตัวกาแฟกะลานั้นจะมีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 60 % (wet basis หรือ w.b.) ซึ่งถือว่าเป็นความชื้นที่ไม่เหมาะสมแก่การเก็บรักษาทำให้มีความจำเป็นต้องลดความชื้นลงให้เหลือไม่เกิน 12 % (w.b.) ที่มีความชื้นที่เหมาะสมแก่การเก็บรักษา โดยทั่วไปแล้ววิธีการลดความชื้นนั้นใช้วิธีการตากแห้งหรือการให้ความร้อน เช่น การอบแห้ง โดยในปัจจุบันเกษตรกรชาวสวนกาแฟนิยมใช้วิธีการตากแดดตามธรรมชาติเพราะเป็นวิธีที่ง่าย วิธีตากแดดตามธรรมชาตินั้นจำเป็นต้องใช้พื้นที่และระยะเวลาดำเนินการ รวมถึงยังมีอุปสรรคทางด้านสภาพอากาศระหว่างดำเนินการส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต นอกจากนี้ยังส่งผลให้เมล็ดกาแฟที่ได้มีคุณภาพต่ำ เช่น มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกจากสิ่งแวดล้อม และไม่สามารถหาปริมาณความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ (Aditya et al., 2011) ด้วยเหตุนี้จึงมีการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาในการลดความชื้นของกาแฟกะลา การใช้เครื่องอบแห้งกาแฟกะลาเป็นการทำให้แห้งได้เร็วเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้ จึงช่วยลดปัญหาในเรื่องของการควบคุมความชื้น และการปนเปื้อนสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นจากการตากแดดตามธรรมชาติ

การอบแห้งด้วยลมร้อนแบบฟลูอิดไรซ์เบดเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก โดยเมล็ดกาแฟจะลอยตัวอยู่ในอากาศร้อนตลอดเวลาในท่อแนวดิ่ง จึงทำให้เมล็ดกาแฟสัมผัสกับอากาศร้อนอย่างทั่วถึงและปริมาณความชื้นในเมล็ดกาแฟลดลงเท่ากันทั้งหมดและส่งผลให้คุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งวิธีอื่นๆ อีกทั้งการอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดยังรักษาคุณภาพทางโภชนาการไว้มากกว่าวิธีอบแห้งแบบวิธีอื่น (ณรงค์ชัยและคณะ, 2557; Mohammad et al., 2015) และอีกปัญหาหนึ่งคือ การควบคุมการใช้พลังงานที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไรซ์เบด เพราะในการอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดต้องใช้งบประมาณจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพที่ได้กับความคุ้มทุนที่จัดงบประมาณในการลงทุน (กรกช, 2545; ศจี, 2556)

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์การอบแห้งและการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการอบแห้งกาแฟกะลา โดยความชื้นของเมล็ดกาแฟกะลาเริ่มต้น 60 % (w.b.) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 90 110 130 และ 150°C กำหนดเมล็ดกาแฟกะลาให้มีความสูงของเบดที่ 4 7 และ 10 cm ความเร็วลม 9.9 m/s คุณภาพกาแฟกะลาภายหลังการอบที่วิเคราะห์ ได้แก่ เมล็ดดำ ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดกาแฟ และศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงานทางด้านไฟฟ้าในการอบแห้งกาแฟกะลาด้วยเครื่องฟลูอิดไรซ์เบด

ในการอบแห้งวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ สิ่งที่สำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึง คือ ความชื้นของวัสดุหลังผ่านการอบแห้งแล้ว เนื่องจากความชื้นของวัสดุอบแห้งเป็นตัวบอกริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือวัสดุแห้ง และยิ่งความชื้นสูงจะส่งผลต่อคุณภาพของกาแฟที่ได้จากการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนใช้พลังงานทางไฟฟ้าเป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตการประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านในกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสำหรับเกษตรกรรายใหม่เพื่อเป็นต้นแบบการลงทุน

วิธีการทดลองได้ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

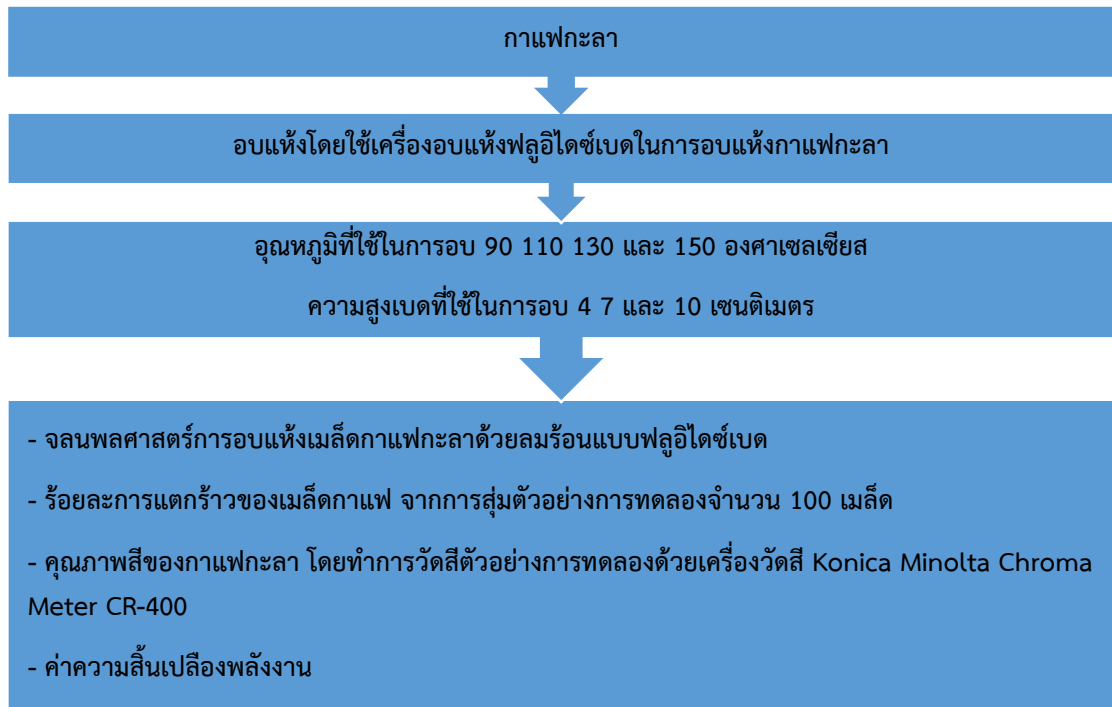


Figure 1 วิธีการทดลอง

ผลและวิจารณ์ผล

จากการทดลองพบว่าความชื้นของเมล็ดที่เปลี่ยนแปลงของช่วงการทดลองอุณหภูมิ 90 110 130 และ 150°C ที่ความสูงเบด 4 cm (Figure 2 และ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิของลมร้อนในห้องอบเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนกับเมล็ดกาแฟกะลาซึ่งทำให้ความชื้นลดลง และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ความชื้นจะลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการทดลองจาก 90°C ไปเป็น 110 130 และ 150°C จะยิ่งทำให้อุณหภูมิเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างรวดเร็วส่งผลให้ใช้เวลาในการลดความชื้นสั้นลง และที่ความสูงเบด 7 และ 10 cm มีผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน และยังพบว่าเมื่อความสูงเบดเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเดียวกันนั้นต้องใช้เวลาในการอบแห้งมากขึ้นซึ่งส่งผลมาจากปริมาณของเมล็ดกาแฟกะลาที่เพิ่มขึ้นตามความสูงเบด ทำให้การเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดกาแฟกะลาในห้องอบแห้งที่ความสูงเบดสูงต้องใช้เวลามากกว่าที่ความสูงเบดต่ำกว่า (Figure 4 และ 5) ปัจจัยด้านความสูงเบดเหล่านี้ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนและกาแฟกะลาใช้เวลามากขึ้น หรือก็คือต้องใช้เวลาในการลดความชื้นกาแฟกะลาให้ถึงความชื้นที่ต้องการยาวนานขึ้น

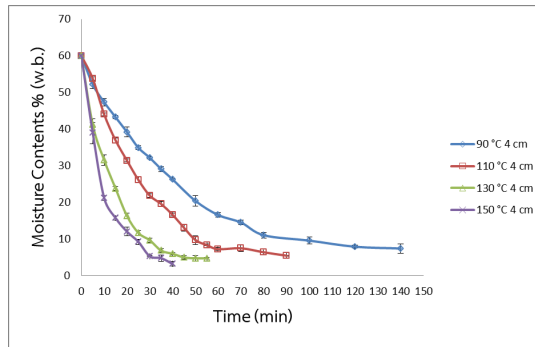


Figure 2 จลนศาสตร์การอบแห้งกาแฟกะลาที่ความสูงเบต 4 cm ที่อุณหภูมิต่างๆ

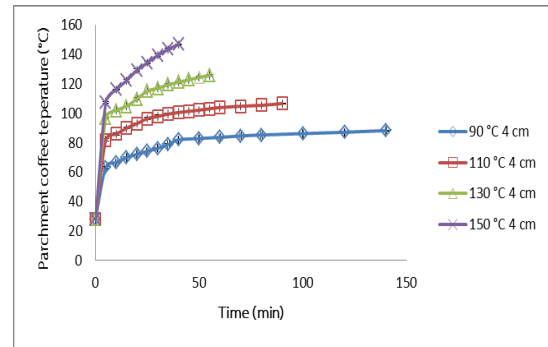


Figure 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกาแฟกะลาที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความสูงเบต 4 cm

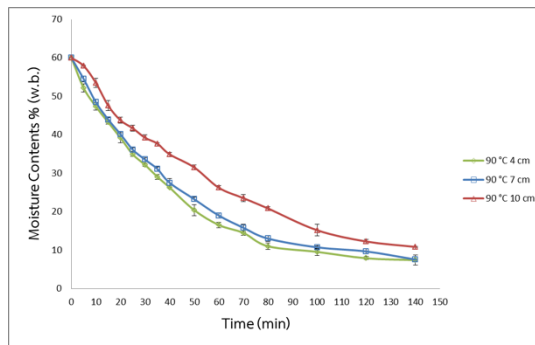


Figure 4 จลนศาสตร์การอบแห้งกาแฟกะลาที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ความสูงเบตต่างๆ

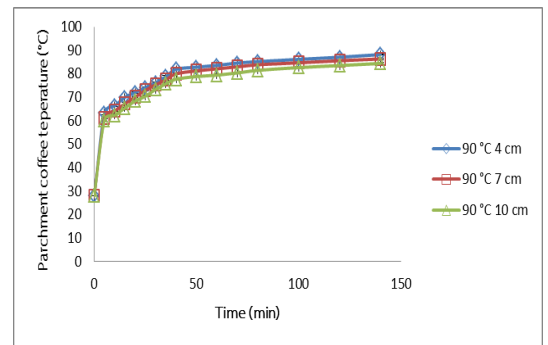


Figure 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกาแฟกะลาที่ความสูงเบตต่างๆ ที่อุณหภูมิ 150 °C

คุณภาพของกาแฟกะลาที่ได้จากการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชันพบว่า อุณหภูมิสูงมีแนวโน้มร้อยละการแตกร้าวของกาแฟกล้าน้อยลงซึ่งส่งผลมาจากที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้นกว่าอุณหภูมิต่ำ ซึ่งที่ระยะเวลาอบแห้งสั้นการกระทบกันระหว่างเมล็ดจะน้อยกว่าการทดลองที่ใช้ระยะเวลาการอบแห้งยาวกว่า ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงความสูงเบตในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันพบว่าร้อยละการแตกร้าวของกาแฟกลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากแต่ละความสูงเบตที่อุณหภูมิเดียวกันมีความเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ทำให้ความเค้นและความเครียดที่เกิดจากการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังใช้ระยะเวลาในการอบแห้งใกล้เคียงกันจึงส่งผลให้ร้อยละการแตกร้าวของกาแฟกลามีค่าไม่แตกต่างกัน (Figure 6 และ 7)

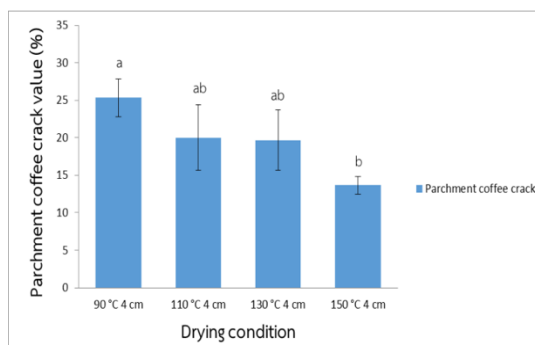


Figure 6 ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดกาแฟกะลาที่ความสูงเบต 4 cm ที่อุณหภูมิต่างๆ

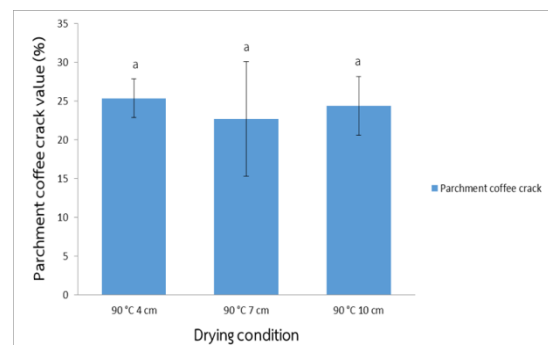


Figure 7 ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดกาแฟกะลาที่อุณหภูมิ 90 °C ที่ความสูงเบตต่างๆ

ด้านคุณภาพของกาแฟสารพบว่าที่ความสูงเบดเท่ากันแล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจำนวนของเมล็ดกาแฟจะมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยอาจเนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟสารที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้เมล็ดกาแฟเกิดการยืดหรือหดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอส่งผลให้เมล็ดกาแฟเกิดการแตกร้าวระหว่างการอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิต่ำกว่า (Figure 8) และยังพบว่าความสูงเบดที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดกาแฟสารมากขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลมาจากระยะเวลาการอบแห้งที่ความสูงเบดสูงยาวกว่าระยะเวลาอบแห้งที่ความสูงเบดต่ำ เนื่องจากเมล็ดกาแฟอยู่ในสภาวะที่ความชื้นและความเครียดใกล้เคียงกันแต่ระยะเวลาการอบแห้งนานกว่า ส่งผลให้ร้อยละการแตกร้าวมากกว่า (Figure 9) ทั้งนี้การแตกร้าวของเมล็ดกาแฟอาจจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสีกะลาออก ซึ่งมีการกระทบกันของเมล็ดกาแฟสารจากการนำกะลาที่เป็นเปลือกชั้นนอกสุดออกจากเมล็ด

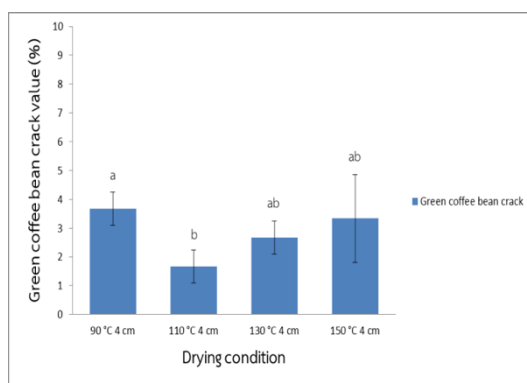


Figure 8 ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดกาแฟสาร

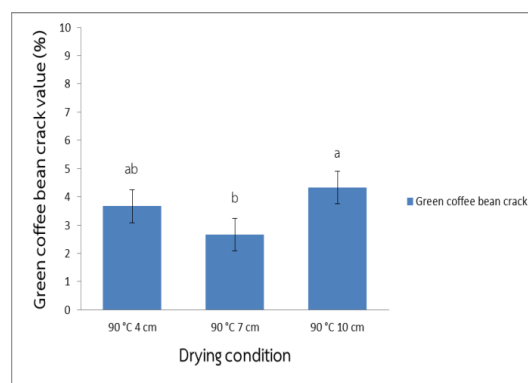


Figure 9 ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดกาแฟสาร

การวัดสีของเมล็ดกาแฟสารได้มีการนำตัวอย่างเมล็ดกาแฟที่ถูกต้องเป็นเมล็ดคัดเสียจากท้องตลาดมาทำการวัดหาค่าสีเพื่อช่วยในการเปรียบเทียบความเข้มของสีดังกล่าว (Table 1)

Table 1 แสดงค่าสีของเมล็ดกาแฟดำที่นำมาจากท้องตลาด

Drying condition	color		
	L*	a*	b*
Black coffee beans in the commercial market.	37.48 ± 4.12	2.46 ± 1.55	8.37 ± 2.79

จากผลการทดลองผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีเมล็ดกาแฟสารพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง ค่าความสว่างของเมล็ด (L*) จะลดลงอาจจะส่งผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟสารอย่างรวดเร็วส่งผลให้สีของเมล็ดเป็นสีเข้มเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้ง นอกจากนี้ค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นที่ความสูงเบดเดียวกันแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปสีแดง ส่วนค่า b* ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 90 110 และ 130 °C มีเพียงอุณหภูมิ 150 °C ที่มีแนวโน้มลดลงจากอุณหภูมิ 130 °C (Table 2) ที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันค่าความสว่างของเมล็ดจะลดลงเมื่อปรับเงื่อนไขสภาวะการอบแห้งที่ความสูงเบดเพิ่มขึ้น โดยที่ความสูงเบด 4 cm มีค่าความสว่างสูงที่สุดในทุกๆ การทดลองที่มีเงื่อนไขของอุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน (Table 3) อย่างไรก็ตามสีของเมล็ดกาแฟสารที่มีคุณภาพสีที่ดีนั้นควรมีค่าความสว่างที่สูง ดังนั้นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงไม่เป็นที่แนะนำเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเมล็ดกาแฟสารจะมีค่าความสว่างที่ลดลงมาใกล้เคียงกับเมล็ดดำ

Table 2 แสดงค่าสีของเมล็ดกาแฟสารที่ความสูงเบด 4 cm ที่อุณหภูมิต่างๆ

Drying condition		Color		
		L*	a*	b*
90°C	4 cm	60.28 ± 2.97a	0.93 ± 0.19b	3.06 ± 1.44c
110°C	4 cm	53.56 ± 1.09b	1.21 ± 1.03b	9.54 ± 1.26b
130°C	4 cm	47.98 ± 3.97bc	2.58 ± 1.33a	13.64 ± 4.30a
150°C	4 cm	43.06 ± 2.16c	3.11 ± 0.39a	9.29 ± 2.31b

Table 3 ค่าสีของเมล็ดกาแฟสาร ที่อุณหภูมิ 90°C ความสูงเบดต่างๆ

Drying condition		Color		
		L*	a*	b*
90°C	4 cm	60.28 ± 2.97a	0.93 ± 0.19a	3.06 ± 1.44b
90°C	7 cm	59.79 ± 3.26a	0.88 ± 0.30a	3.95 ± 0.86b
90°C	10 cm	54.73 ± 0.93a	0.33 ± 0.21b	8.78 ± 2.68a

ค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองที่ได้รับผลกระทบจากการปรับอุณหภูมิการทดลองเนื่องจากการที่อุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้นกว่าอุณหภูมิต่ำดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำงานของ Heater และ Blower ที่อุณหภูมิต่ำสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองอุณหภูมิต่ำสูงกว่าที่อุณหภูมิสูงที่สุดและค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลงแต่ระยะเวลาการอบแห้งยาวขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มความสูงเบดทำให้ระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อความสูงเบดเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำเท่ากันจะส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานในการทดลองเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Figure 10 และ 11)

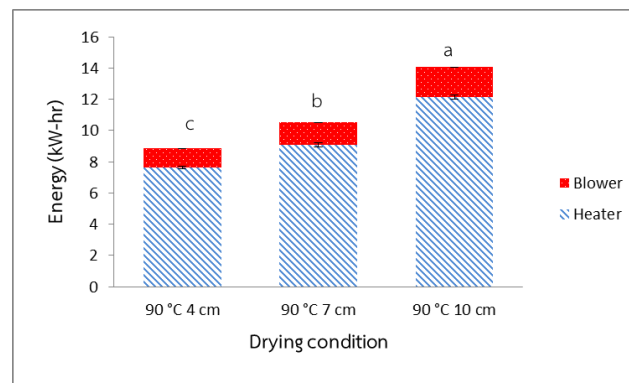


Figure 10 ค่าความสิ้นเปลืองการใช้พลังงานที่ความสูงเบด 4 cm ที่อุณหภูมิต่างๆ

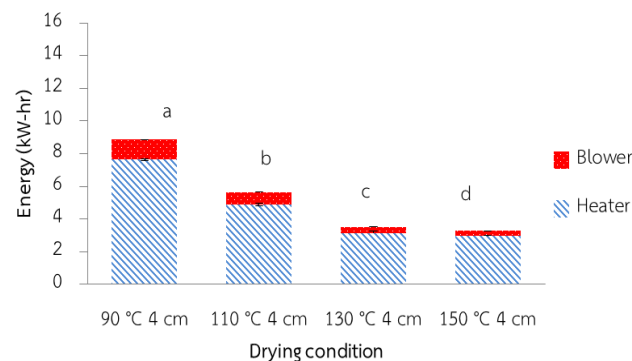


Figure 11 ค่าความสิ้นเปลืองการใช้พลังงานที่อุณหภูมิ 90°C ที่ความสูงเบดต่างๆ

สรุป

จากการทดลองกราฟอุณหภูมิศาสตร์การอบแห้งของกาแฟแห้งเมล็ดกาแฟสดโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด สรุปได้ว่าที่ความสูงเบดเดียวกันระยะเวลาการอบแห้งจะลดลงเมื่อทำการปรับเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลมาจากอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นไปทำให้อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟสดในหีบอบเพิ่มขึ้นตามจนส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างเมล็ดกาแฟสดกับลมร้อนอย่างรวดเร็ว และพบว่าที่อุณหภูมิ 150°C การอบแห้งของการทดลองที่ความสูงเบด 4 cm ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นกว่าที่ความสูงเบด 7 และ 10 cm เนื่องจากความสูงเบดที่สูงกว่าปริมาณเมล็ดกาแฟสดในหีบอบมีมากกว่าทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดในหีบอบยาวกว่า โดยที่ความสูงเบด 4 cm อุณหภูมิ 150°C ใช้ระยะเวลาการสั้นที่สุดในทุกการทดลอง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งเพียง 20 นาที อีกทั้งระยะเวลาการอบแห้งที่สั้นยังส่งผลให้การกระทบกันระหว่างกาแฟสดน้อยลง ทำให้จำนวนกาแฟสดที่แตกร้าวที่พบในการทดลองที่ระยะเวลาการอบแห้งสั้นน้อยลงตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการแตกร้าวของกาแฟสดสามารถเกิดจากสาเหตุผลประกอบอื่นๆ ทั้งการแตกร้าวระหว่างการสีกะลา หรือการแตกร้าวจากการหายไปของความชื้นอย่างกะทันหัน ซึ่งผิวกะลาได้แยกตัวออกจากเนื้อกาแฟสดจึงส่งผลให้แนวโน้มการแตกร้าวมีลักษณะที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่าสีของเมล็ดกาแฟสดที่ได้จากการทดลองจะมีค่าความสว่างที่สูงจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเหมาะสมสำหรับผลผลิตในท้องตลาด ในส่วนของการวิเคราะห์พลังงานสรุปได้ว่าถึงแม้ว่าการปรับอุณหภูมิที่สูงในการอบแห้งจะใช้พลังงานที่สูงกว่าอุณหภูมิต่ำต่อเวลาที่เท่ากันแต่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงนั้นใช้ระยะเวลาอบแห้งสั้นกว่าจึงส่งผลให้ค่าพลังงานต่ำที่การทดลองที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งสั้น โดยที่ความสูงเบด 4 cm อุณหภูมิ 150°C ใช้ค่าพลังงานในการอบแห้งน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่สนับสนุนทุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง.

- กรกช ภูโพลย์. 2545. การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด. ปริญญาโท ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน โปรแกรมวิชาพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้). 2558. ประวัติการปลูกกาแฟโรบัสต้าในภาคใต้ของประเทศไทย: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/coffee/history/01-04.php> (เข้าถึงเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2559)
- ณรงค์ชัย ชีวะธรรมรัตน์, นายศุภกฤต เลิศล้ำมงคล และ นางสาวอัครภาส สมหวัง. 2557. การอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน. ปริญญาโท ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร.
- นนทวัชร ชิตวิสัย. 2547. การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย. ปริญญาโท ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ศจี รักษาเจริญ. 2556. ผลของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดต่อการเจริญของเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดข้าวเปลือก. สาขาวิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. กาแฟ: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=17878&filename=index (เข้าถึงเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2559)
- Aditya Putranto, Xiao Dong Chen, Zongyuan Xiao and Paul A. Webley. 2011. Mathematical modeling of intermittent and convective drying of rice and coffee using the reaction engineering approach (REA), vol. 105, pp. 638-646.

Mohammad Hadi Khoshtaghaza, Hosain Darvishi and Saeid Minaei. 2015. Effects of microwave – fluidized bed drying on quality, energy consumption and drying kinetics of soybean kernels, vol. 52, pp. 4749-4760.

การเปรียบเทียบการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวลูกผสมชุมพร 60 A Comparison of on Production Process of Virgin Coconut Oil from Chumphon Hybrid 60 Coconut

ศดาญ วงสวาท ยศวรรณ จัยต่าย จุลติศ ศิริสุวรรณ และ ปัญญา แดงวิลักษณ์*
Sadayu Wongsawat, Yosawan Yuitai, Junladit Sirisuwan and Panya Dangvilailux*

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
Department of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon campus

* Corresponding author: kdpanya@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวลูกผสมชุมพร 60 เริ่มต้นด้วยการนำมะพร้าวมาปอกแล้วขูดเอาเนื้อแล้วหีบให้น้ำกะทิแล้วนำไปเหวี่ยงแยกครีมกะทิออกจากน้ำกะทิด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ที่ความเร็วรอบ 7,250 รอบต่อนาที จะได้ครีมกะทิ แล้วแบ่งครีมกะทิออกเป็น 5 ส่วน เพื่อนำครีมกะทิไปสกัดให้เป็นน้ำมันมะพร้าว โดยใช้วิธีให้ความร้อนกับความเย็น สกัดโดยความร้อนด้วยอุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ในส่วนความเย็นนำครีมกะทิไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า เนื้อมะพร้าว 40 กิโลกรัม นำไปคั้นให้เป็นกะทิแล้วเหวี่ยงได้ครีมกะทิ 8.92 กิโลกรัม คิดเป็น 22.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำน้ำมันมะพร้าวเข้มข้นไปสกัดด้วยอุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมัน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 25.8 16.15 36.9 22.5 และ 25.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวไปวิเคราะห์กรดไขมันต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีกรดลอริกประมาณ 48 % ของไขมันทั้งหมด ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การสกัดน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวมากที่สุดที่ 36.9 %และมีปริมาณกรดไขมันที่อยู่ในมาตรฐาน

คำสำคัญ : น้ำมันมะพร้าว, กรดลอริก, มะพร้าว

ABSTRACT

This research will study the production process of virgin coconut oil from Chumphon hybrid 60 coconut. The coconut was peeled, scraped the coconut meat and pressed coconut milk. The coconut milk was put a centrifugal machine at rotation speed 7,250 rpm. The outputs of centrifugal was separated coconut cream. The coconut cream heat at temperature 40, 50, 60 and 70 °C and frozen at -20 C and heating at 60 °C. The coconut meats 40 kg have undiluted coconut milk 8.92 kg (20.33 % by weight). The coconut oil was extracted 25.8, 16.15, 36.9, 22.5 and 25.1 % by weight of coconut oil at -20, 40, 50, 60 and 70 °C respectively. Coconut oil was used to analyze fatty acids. At temperatures of -20, 40, 50, 60 and 70 degrees Celsius, approximately Lauric acid at 48% of total fatty acids. The highest coconut oil content was 36.9% at 50 degrees Celsius and the fatty acid content is standard.

Keywords: Coconut oil, Lauric acid, Coconut

บทนำ

มะพร้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ *Palmae* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มะพร้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ชนิดหนึ่งของประเทศไทยมีผลผลิตของมะพร้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก รองลงมาจากประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย บราซิลและศรีลังกา ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil) เป็นน้ำมันพืชที่สกัดได้จากเนื้อของมะพร้าว โดยน้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่มีประโยชน์มากมาย เนื่องจากเป็นกรดไขมันที่มีความยาวสายโซ่ขนาดปานกลาง (Medium chain fatty acid, MCFA) สามารถลดคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL) หรือคอเลสเตอรอลในเลือด ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ ประโยชน์ในการลดระดับคอเลสเตอรอลและไขมัน peroxidation (H.T. Khor, 1998) นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันที่มีประโยชน์มากมาย เช่น กรดลอริกสูงถึง 43-53% ของกรดไขมันทั้งหมด กรดไมริสติก และกรดปาล์มมิติกมีค่าอยู่ระหว่าง 16- 21% และ 7.5-10% ของกรดไขมันทั้งหมด (APCC, 2003) เมื่อบริโภคน้ำมันมะพร้าวเข้าไปในร่างกาย กรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวจะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ ที่มีชื่อว่า โมโนลอรีน ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกันกับที่อยู่ในนมแม่เหลือง (Cholestum) ของนมนแม่ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ทารกในระยะ 6 เดือนแรกหลังคลอด ก่อนที่ร่างกายจะสร้างระบบภูมิคุ้มกันโรคได้ (Enig, 1996)

องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าว (รฐมียา, 2556) จากการศึกษาการทำน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น (Cold process coconut oil) หรือเรียกว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin coconut oil) ที่ได้จากการคั้นกะทิสด ผสมน้ำตาลสุก หรือผสมน้ำมันมะพร้าว หมักจนเกิดการแยกตัว เป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุด เรียกว่า ครีม เป็นส่วนของโปรตีน มีสีขาว ชั้นกลางเป็นส่วนน้ำมันมะพร้าว ชั้นล่างเป็นส่วน ของน้ำที่เกิดจากการหมัก จะได้ส่วนของน้ำมันประมาณ 15% จากปริมาตรของน้ำกะทิเริ่มต้น น้ำมันนี้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส มีกลิ่นหอมอ่อนๆ รสชาติเหมือนมะพร้าวอ่อน น้ำมันสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องแช่เย็น และไม่เกิดการบูดหรือกลิ่นหืนเนื่องจากในน้ำมันมะพร้าว มีสารโทโคเฟอรอล (Tocopherol) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิตามิน E ที่ป้องกันการเติมออกซิเจน (Antioxidant) น้ำมันมะพร้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refining) การฟอกสี (Bleaching) และการกำจัดกลิ่น (Deodorization) หลังจากที่ได้สกัดได้ จะมีวิตามินอีทั้งในรูปแอลฟาโทโคเฟอรอล (α -Tocopherol) และโทโคไตรเอนอล (Tocotrienol) เท่ากับ 1.1 มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม และ 3.1 มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ตามลำดับ (Santos, 2005) ซึ่งสารดังกล่าวมีสมบัติในการยับยั้งออกซิเดชันและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟีนอลและสารไฟโตสเตอรอล ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับวิตามินอี โดยพบว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลในน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 25 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อน้ำมัน 100 กรัม (Marina, 2008) และสารไฟโตสเตอรอล ประมาณ 400 - 1,200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน (Wang, 2002)

การผลิตน้ำมันมะพร้าวสามารถทำได้โดยแยกน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวหรือกะทิ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีการสกัดร้อน และวิธีการสกัดเย็น

1. วิธีการสกัดร้อน (อุณหภูมิที่ใช้น้ำมากกว่า 70 องศาเซลเซียส) เป็นวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ใช้น้ำทั้งในครัวเรือน โดยนำมะพร้าวไปคั้นเป็นกะทิ แล้วนำกะทิหรือเนื้อมะพร้าวไปต้้งไฟด้วยความร้อนที่สูง คนเรื่อยๆ จะได้ น้ำมันสีเหลืองใสและกากออกมา จากนั้นนำไปกรองเพื่อแยกกากกับน้ำมัน จะได้น้ำมันมะพร้าวที่มีกลิ่นหอมแรง

2. วิธีการสกัดเย็น (อุณหภูมิที่ใช้น้อยกว่า 70 องศาเซลเซียส) เป็นวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการนำกะทิไปใส่ไว้ในภาชนะใสที่มีฝาปิดเป็นเวลา 9-12 ชั่วโมง จนเกิดการแยกตัวออกเป็นชั้น โดยจะแยกออกเป็นสามชั้น คือ ชั้นบนสุดจะเป็นส่วนของครีมกะทิ ชั้นกลางจะเป็นส่วนของน้ำมันมะพร้าว และชั้นล่างจะเป็นส่วนของน้ำเปรี้ยว ให้นำส่วนที่เป็นน้ำเปรี้ยวออกและทิ้งไว้อีกประมาณ 6-9 ชั่วโมง จะได้น้ำมันใสไม่มีสี

ซึ่งจากการศึกษาการผลิตน้ำมันมะพร้าวทั้ง 2 วิธี มีกรรมวิธีในการผลิตและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตที่แตกต่างกัน ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษากรรมวิธีในการผลิตและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันมะพร้าว เพื่อรักษาคุณสมบัติโครงสร้างของโมเลกุลและสารอาหารของน้ำมันมะพร้าวที่ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันมะพร้าว ตรวจสอบสมบัติของกรดไขมันและปริมาณของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ได้จากการทดลองสกัดน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิต จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิทั้งร้อนและเย็นมีผลต่อการแยกตัวของน้ำมัน จึงทำการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวลูกผสมชุมพร 60 โดยวิเคราะห์หาคุณสมบัติของกรดไขมันและปริมาณของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่ได้จากการทดลองสกัดน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ

เริ่มทำการทดลองดังขั้นตอน Figure 1 โดยนำกะทิเข้าเครื่องเหวี่ยงด้วยอัตราการไหล 80 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อแยกน้ำเปรี้ยว และครีมกะทิต่อออกจากกัน เครื่องเหวี่ยงที่ใช้มีความเร็วรอบในการหมุนอยู่ที่ 7,250 รอบต่อนาที โดยมีอุปกรณ์ต่างๆในเครื่องสกัดดัง Figure 2 ทำการทดลองซ้ำโดยนำน้ำเปรี้ยวไปเข้าเครื่องเหวี่ยงซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้ได้ครีมกะทิต่อออกมามากที่สุด จากนั้นนำครีมกะทิแบ่งออกเป็น 5 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะมีปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร เท่ากัน จากนั้นนำครีมกะทิ 4 ส่วน ไปทำการให้ความร้อนโดยอุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ที่ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิถึงตามที่กำหนด ทำการคนสารต่อไปเป็นเวลา 10-15 นาที จากนั้นนำมาตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างโปรตีนกับไขมัน ดัง Figure 3 บันทึกปริมาณน้ำมัน และระยะเวลาที่ใช้ในการแยกชั้น ส่วนครีมกะทิสั้นที่เหลือ นำไปแช่แข็งในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาละลายโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างโปรตีนกับไขมัน เช่นเดียวกับวิธีที่ให้ความร้อน หลังจากสกัดแล้วนำน้ำมันที่ได้ไปไล่ความชื้นออก

ผลและวิจารณ์ผล

จากการทดลองการเหวี่ยงของกะทิเพื่อเหวี่ยงแยกน้ำครีมกะทิต่อออกจากน้ำเปรี้ยว นั้น พบว่าได้ค่าเฉลี่ยของครีมกะทิต่ออยู่ที่ 8.92 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยมาจากการใช้น้ำมันมะพร้าวชุดจำนวน 40 กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ สุคนธ์ชิน ศรีงาม ที่มีเปอร์เซ็นต์ครีมกะทิต่ออยู่ที่ 24.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (สุคนธ์ชิน ศรีงาม, 2542) หลังจากผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ข้างต้น จากความสัมพันธ์ดัง Figure 4 พบว่าที่เวลาเริ่มต้นไม่เกิดการแยกชั้นของชั้นน้ำมันมะพร้าวออกจากครีมกะทิ จะเริ่มมีการแยกชั้นที่เวลา 10 นาที เริ่มมีการแยกชั้นเกิดขึ้นในการสกัดน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยการทดลองการสกัดน้ำมันที่อุณหภูมิ 50 กับ 70 องศาเซลเซียสมีปริมาณ 23.08 มิลลิลิตร ส่วนการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีปริมาณ 17.95 มิลลิลิตร ต่อมาที่เวลา 20 นาที การทดลองการสกัดที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนมีปริมาณน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 41.49 มิลลิลิตร ส่วนอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสมีปริมาณ 38.46 33.33 และ 35.90 มิลลิลิตร ตามลำดับ ต่อมาที่เวลา 40 นาที อุณหภูมิทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลองการสกัดน้ำมันมะพร้าวเกิดการแยกชั้นที่เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เริ่มตั้งแต่การทดลองอุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 150.85 15.138 92.31 48.72 และ 84.62 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อถึงเวลาที่ 110 นาที มีปริมาณน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 194.44 64.18 210.26 115.38 และ 153.85 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมของโครงสร้างของน้ำมันในการแตกตัวและแยกชั้น จากนั้นปริมาณน้ำมันมะพร้าวก็นำมาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่มากขึ้นจนถึงเวลาที่ 300 นาที มีปริมาณน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 258.12 161.54 369.23 225.64 และ 251.28 มิลลิลิตร ตามลำดับ

วิธีการทดลองได้ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

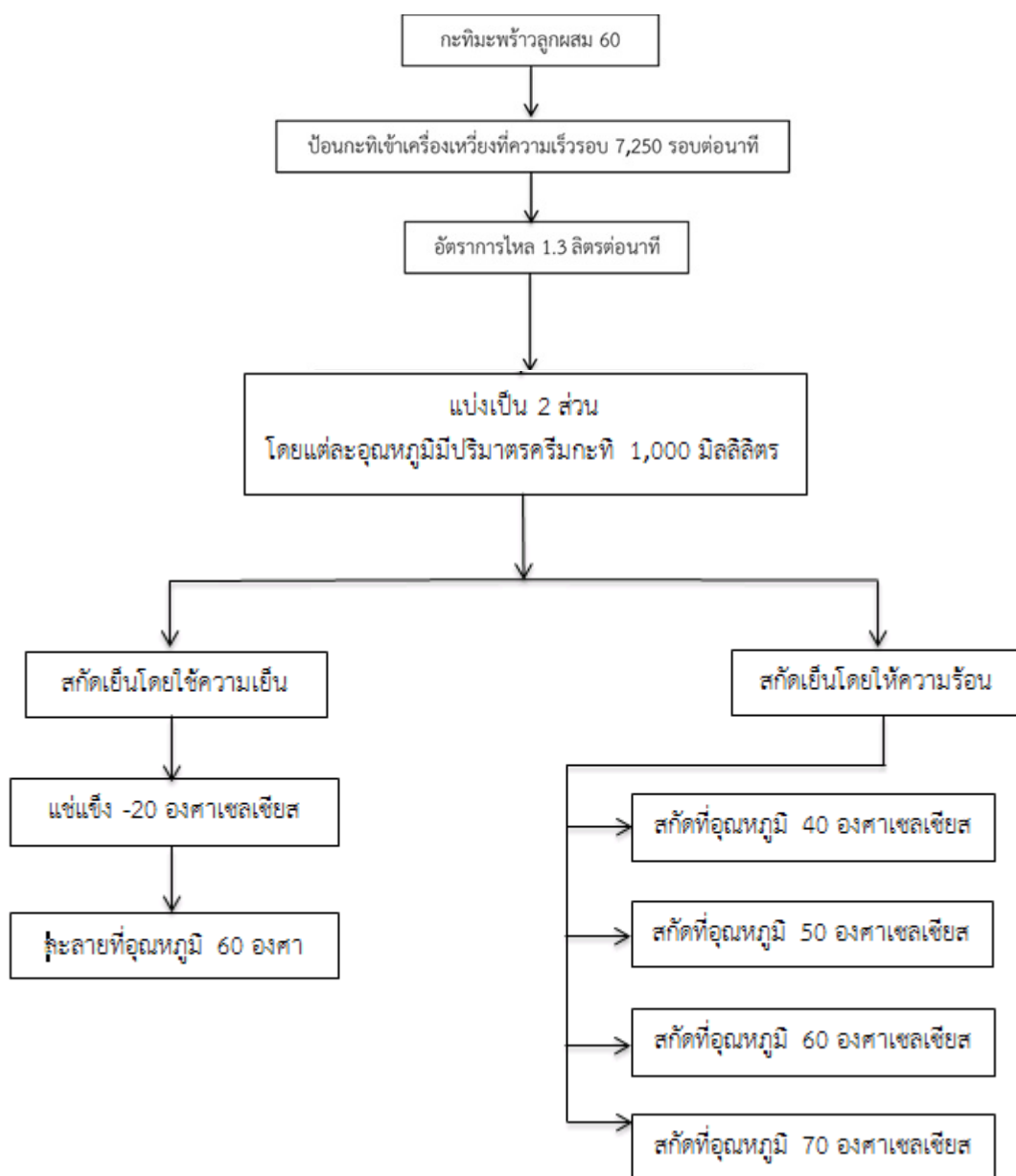


Figure 1 ขั้นตอนการทดลองการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวลูกผสมชุมพร 60

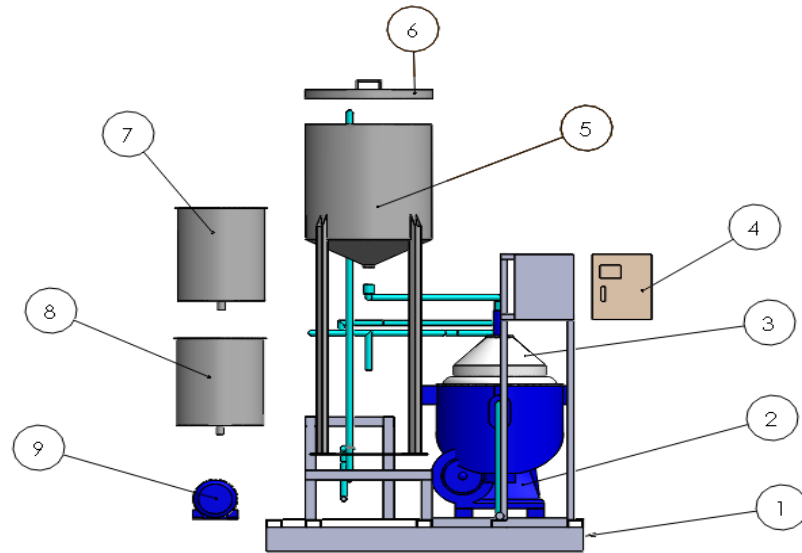


Figure 2 อุปกรณ์ต่างๆในเครื่องสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

- | | |
|---|----------------------|
| (1) โครงสร้าง | (6) ฝาหม้อ |
| (2) เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง Alfa-Laval MOPX-205TGT | (7) ถังใส่น้ำเปรี้ยว |
| (3) ฝาปิดเครื่องเหวี่ยง | (8) ถังใส่ครีมกะทิ |
| (4) กล่องควบคุมอุณหภูมิ | (9) ปั๊มน้ำ |
| (5) หม้อควบคุมอุณหภูมิ | |

หลังจากทดลองพบว่าการแยกชั้นของน้ำมันมะพร้าวที่เวลา 5 ชั่วโมง ดังFigure 5 พบว่ายังมีน้ำมันมะพร้าวที่ยังไม่แยกชั้นออกจากครีมกะทิ ถึงแม้ว่าหลังจาก 5 ชั่วโมง เมื่อน้ำมันสัมผัสอากาศเป็นเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้น้ำมันมีกลิ่นหืนเพิ่มมากขึ้น จึงต้องรีบนำไปผ่านกระบวนการแยกความชื้นออกและจัดเก็บในภาชนะ โดยผลการทดลองพบว่า ในการทดลองที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวอยู่ที่ 51.81 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



Figure 3 การให้ความร้อนและการแยกชั้นของน้ำมัน

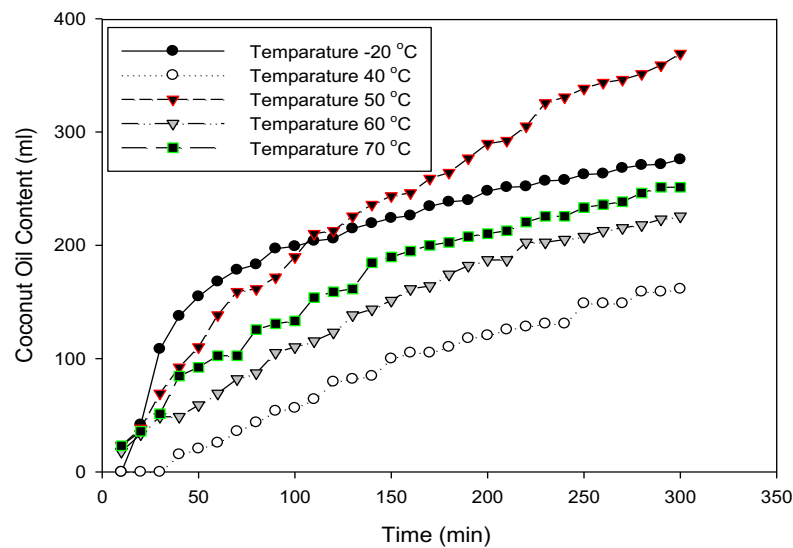


Figure 4 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยระหว่างเวลา กับปริมาณในการแยกชั้นน้ำมันมะพร้าว

ส่วนการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวอยู่ที่ 50.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเปอร์เซ็นต์ที่น้อยที่สุดของทุกอุณหภูมิการทดลอง ต่อมาที่การทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์น้ำเท่ากับ 66.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และถือเป็นปริมาณที่มากที่สุดของทุกอุณหภูมิการทดลอง ในส่วนของการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 59.08 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 54.49 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

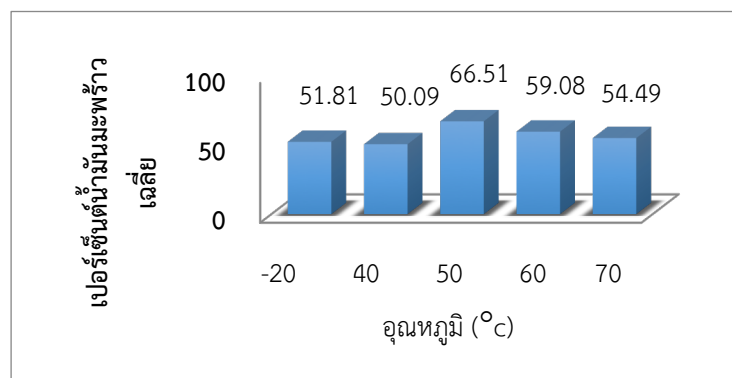


Figure 5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าว

จาก Table 1 แสดงให้เห็นถึงผลค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ำมันมะพร้าวก่อนและหลังการอบเพื่อไล่ความชื้น โดยผลการทดลองพบว่า การผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการสกัดด้วยอุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในน้ำมันดังนี้ 4.80 0.85 1.30 1.29 และ 1.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำในน้ำมันมะพร้าวที่ยังสูงอยู่ ซึ่งปริมาณน้ำในน้ำมันมะพร้าวหรือความชื้นนั้น จะส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของน้ำมันมะพร้าว จึงต้องนำน้ำมันที่ได้ผ่านกระบวนการไล่ความชื้นให้เหลือไม่เกิน 0.1% ตามมาตรฐาน ของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น

Table 1 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำในน้ำมัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ก่อนอบ (กิโลกรัม)	หลังอบ (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์
-20	0.125	0.119	4.80
40	0.118	0.117	0.85
50	0.115	0.114	1.30
60	0.116	0.115	1.29
70	0.12	0.118	1.67

Table 2 ปริมาณกรดไขมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Fatty acid Composition (Polyunsaturated Fat)	ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวสกัดด้วยอุณหภูมิ (กรัมต่อ 100 กรัม)					มาตรฐาน กระทรวง สาธารณสุข
	40 องศา เซลเซียส	50 องศา เซลเซียส	60 องศา เซลเซียส	70 องศา เซลเซียส	-20 องศา เซลเซียส	
Linoleic acid	1.25	1.25	1.24	1.23	1.18	0.9 - 3.7

Table 3 ปริมาณกรดไขมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Fatty acid Composition (Saturated Fat)	ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวสกัดด้วยอุณหภูมิ (กรัมต่อ 100 กรัม)					มาตรฐาน กระทรวง สาธารณสุข
	40 องศา เซลเซียส	50 องศา เซลเซียส	60 องศา เซลเซียส	70 องศา เซลเซียส	-20 องศา เซลเซียส	
Caproic acid	0.39	0.39	0.38	0.40	0.40	ไม่เกิน 1.2
Lauric acid	48.47	48.48	48.51	48.48	48.56	41 - 56
Myristic acid	18.78	18.77	18.77	18.74	18.66	13 - 23
Palmitic acid	8.99	8.98	8.96	8.93	8.84	4.2 - 12
Stearic acid	2.95	2.95	2.95	2.93	2.91	1.0 - 4.7

จาก Table 2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าว พบว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Linoleic acid) 1.25 (กรัมต่อ 100 กรัม) ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด และจะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิที่ 60 70 และ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เพราะร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง ต้องได้รับจากการบริโภคอาหารเท่านั้น โครงสร้างเป็นกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-6 เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วร่างกายสามารถเปลี่ยนกรดไขมันนี้เป็นกรดโอโคซาเพนตะอีนอีก ซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพ การเจริญเติบโต พัฒนาการและการทำงานของสมอง และการสืบพันธุ์

จาก Table 3 ปริมาณกรดไขมันเป็นผลจากการหาค่าส่วนประกอบของกรดไขมันต่างๆ ในน้ำมันมะพร้าวที่สกัด ที่อุณหภูมิ 40 50 60 70 และ -20 องศาเซลเซียส มีกรดลอริกปริมาณเท่ากับ 48.47 48.48 48.51 48.48 และ 48.56 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ รวมทั้งกรดไขมันตัวอื่นๆ อาทิ กรดลิโนเลอิก กรดปาล์มมิติก กรดแคปโพลิก กรดไมริสติก กรดสเตียริก มีค่าอยู่ในช่วงของมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข

สรุป

จากการทดลองการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากมะพร้าวลูกผสมชุมพร 60 โดยใช้การเหวี่ยงเพื่อแยกครีมกะทิให้ออกจากกะทิ แล้วจากนั้นก็นำครีมกะทิที่ได้มาทำการสกัดให้น้ำมันมะพร้าว โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ โดยอุณหภูมิที่ทำการทดลองนั้นได้แก่ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า

1. การเหวี่ยงกะทิเพื่อแยกครีมกะทิให้ออกจากกะทิ ได้น้ำหนักของครีมกะทิเฉลี่ยอยู่ที่ 8.92 กิโลกรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักได้เท่ากับ 22.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. การแยกชั้นของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ โดยมีการทดสอบที่อุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่มีการแยกชั้นได้ปริมาณน้ำมันที่มากที่สุดในช่วงเวลา 300 นาที จากผลการทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การสกัดน้ำมันมะพร้าว คือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันมะพร้าวอยู่ที่ 369.23 มิลลิลิตร และอุณหภูมิที่มีการแยกชั้นได้ปริมาณน้ำมันที่น้อยที่สุด คือ อุณหภูมิ 40 ได้น้ำมันมะพร้าวอยู่ที่ 161.54 มิลลิลิตร
3. หากทิ้งไว้ต่อไป 48 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์น้ำมันมะพร้าวที่มีปริมาณสูงที่สุดจากการทดลอง คือ น้ำมันมะพร้าวที่สกัดด้วยอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 66.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่น้ำมันที่ได้จะมีกลิ่นเหม็นหืน
4. ปริมาณน้ำในน้ำมันมะพร้าวหรือความชื้นที่พบในการทดลองที่อุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 4.80 0.85 1.30 1.29 และ 1.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ น้ำมันมะพร้าวการทดลองที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำในน้ำมันมะพร้าวสูงที่สุด จึงต้องนำน้ำมันที่ได้ผ่านกระบวนการไล่ความชื้นให้เหลือไม่เกิน 0.1% ตามมาตรฐาน ของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น
5. คุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด จากการทดสอบที่อุณหภูมิ -20 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีกรดลอริกปริมาณเท่ากับ ค่าเท่ากับ 48.56 48.47 48.48 48.51 และ 48.48 กรัมต่อ 100 กรัม และมีปริมาณกรดลิโนเลอิก กรดปาล์มมิก กรดแคปโรลิก กรดไมริสติก กรดสเตียริก มีค่าอยู่ในช่วงของมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้แผนงาน การเพิ่มศักยภาพการผลิตและแปรรูปมะพร้าวตลอดห่วงโซ่อุปทาน และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ที่สนับสนุนงบประมาณ อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง.

- รฐมียา อาลี. 2556. คุณภาพทางเคมีของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จากภาคใต้ของประเทศไทยและการเตรียมโมโนลอรินโดยใช้เอนไซม์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรการอาหารและโภชนาการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. มะพร้าว.สืบค้นได้จาก <http://www.oae.go.th> (เข้าถึงเมื่อ 20 เมษายน 2560)
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2542. การแยกน้ำมันมะพร้าวจากน้ำกะทิ. เกษตรศาสตร์ (วิทย.) ปีที่ 33 ฉบับที่ 3 ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Asian and Pacific Coconut Community (APCC). 2003. Standard for virgin coconut oil. [Online] Available at <http://www.apccsec.org>. [April 16, 2017]
- Enig, M. G. 1996. Health and nutritional benefits from coconut oil and its advantages over competing oils: An Important functional food for the 21st century. [Online] Available at <http://coconutboard.in>. [April 20, 2017]
- Khor H.T. , Raajeswari R., Muralidharan G. 1998. The role of unsaponifiable components in lipidimic property of olive oil Malays. J. Nutr., 4 pp. 73-80

- Marina, A.M., Che Man, Y.B., Nazimah, S.A.H. and Amin, I. 2008. Antioxidant capacity and Phenolic acids of virgin coconut oil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 60: 114-123.
- Santos, R.R., Laygo, R.C., Payawal, D.A., Tiu, E.G.G., Sampang, A.L.S. and Urian, J.P.C. 2005. The antioxidant effect of virgin coconut oil on lipid peroxidation. *Philippine Journal Internal Medicine*. 43: 199-204.
- Wang, T., Hicks, K.B. and Moreau, R. 2002. Antioxidant activity of phytosterols, oryzanol and other phytosterol conjugate. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 79: 1201-1206.

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewers)

ต้นฉบับบทความวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารสจล.ชุมพรเขตอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2561) ได้รับการตรวจสอบแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิ ดังรายนามต่อไปนี้

- | | |
|---|--|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ร่วมจิตร นกเขา | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 2. ดร.อัญญา จันทร์ปะทิว | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญจิตร สันติประชา | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
(ข้าราชการเกษียณ) |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรประพา คงตระกูล | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์สรวง ยางทอง | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 6. ดร.ธิติ ทองคำงาม | สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชและภูมิทัศน์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
วิทยาเขตจันทบุรี |
| 7. ดร.จงจิตร จันตรา | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 8. ดร.ชนัดดา ภาวโลทร | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 9. ดร.อภิชัย พลชัย | ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชพล จุ่งเจริญ | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤบดี ศรีสังข์ | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 12. ดร.อาคม ปะหลามานิต | สถาบันวิจัยระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำรรค | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว | ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช | สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ |
| 17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำรรค | สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นักรบ นาคประสม | หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกิต ทิมขำ | สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร | ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความตีพิมพ์

วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วารสารสจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร จัดพิมพ์ ปีละ 2 ฉบับ ตั้งแต่เดือน มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม มีจุดมุ่งเน้นบทความวิจัยในสาขาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเกษตรศาสตร์ โดยบทความแต่ละชิ้นจะผ่านการประเมิน (Peer-Review) ซึ่งบทความวิจัยที่สามารถตีพิมพ์ได้จะต้องผ่านการยอมรับจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 ท่าน จาก 3 ท่านที่ประเมินบทความวิจัยนั้นๆ

คำแนะนำการเตรียมเรื่อง

1. เรื่องที่จะลงตีพิมพ์ต้องเป็นบทความวิจัย หรือบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเกษตรศาสตร์ และไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน
2. ต้นฉบับต้องมีเนื้อเรื่องที่สมบูรณ์จบในฉบับ พิมพ์ลงไฟล์ MS-Word ขนาดกระดาษ A4 ไม่เกิน 10 หน้า ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 pts
 - 2.1 ชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK ขนาด 15 pts **ตัวหนา (Bold)**
 - 2.2 ชื่อผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK ขนาด 14 pts **ตัวหนา (Bold)**
 - 2.3 ที่อยู่ผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK ขนาด 12 pts
 - 2.4 ให้ระบุ E-mail ของ Corresponding author ด้วย TH SarabunPSK ขนาด 12 pts
 - 2.5 การจัดหน้า ระยะจากขอบด้านบน ด้านขวา และด้านล่าง เท่ากับ 2.54 ซม. ส่วนระยะจากขอบด้านซ้าย เท่ากับ 3.81 ซม. โดยการพิมพ์แต่ละย่อหน้า บรรทัดแรกให้เยื้องเข้ามา 1.27 ซม.
3. เรื่องที่เป็นรายงานการวิจัยควรมีหัวข้อตามลำดับดังนี้
 - ชื่อเรื่อง:** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
 - ชื่อ ตำแหน่ง และหน่วยงานผู้เขียน:** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
 - บทคัดย่อ:** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ (Abstract) ความยาวไม่เกิน 300 คำ และให้ระบุคำสำคัญ (เรียงตามลำดับความสำคัญ) ไม่เกิน 5 คำ ท้าย Abstract ด้วย Keywords:
 - บทนำ:** แสดงความสำคัญของปัญหา การตรวจเอกสาร และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
 - วิธีการศึกษา:** ควรเขียนให้กระชับและเป็นขั้นตอนที่เหมาะสม ประกอบด้วยรายละเอียดหน่วยทดลอง เทคนิคการเก็บข้อมูล แผนการทดลอง การวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสม และระบุสถานที่และช่วงเวลา อย่างชัดเจน
 - ผลการศึกษา:** บรรยายสรุปผลการวิจัย หลีกเลี่ยงการซ้ำซ้อนกับข้อความในตารางหรือภาพประกอบ (ถ้ามี) และตารางหรือภาพประกอบให้ใช้ภาษาอังกฤษทั้งหมด
 - วิจารณ์:** (อาจรวมกับผลการศึกษา) ควรประกอบด้วยหลักการที่ออกมาจากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น ปัญหาหรือข้อโต้แย้งในสาระสำคัญ ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต และแนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์
 - สรุป:** (อาจรวมกับวิจารณ์) ไม่ควรซ้ำซ้อนกับผลการศึกษา แต่เป็นการสรุปให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์
 - คำขอบคุณ:** (ถ้ามี) สำหรับผู้ช่วยเหลืองานวิจัย (แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมวิจัย) แล่งทุน หน่วยงานต้นสังกัด หรืออื่นๆ ตามความเหมาะสม
 - เอกสารอ้างอิง:** เขียนตามรูปแบบในข้อ 7

4. การอ้างอิงในเนื้อเรื่องให้ใช้ระบบ ชื่อ-ปี เช่น เทียมพบ และปิยะดา (2558) รายงานว่า หรือ (เทียมพบ และปิยะดา, 2558) กรณีที่ผู้เขียน 3 คนขึ้นไปให้ใช้ เทียมพบ และคณะ (2558) รายงานว่า หรือ Thompson et al. (2016) กรณีที่มีหลายรายงานอ้างอิงเรื่องเดียวกันให้ใช้ (เทียมพบ และปิยะดา, 2558; ธนรรษมลวรรณ, 2559; Thompson et al., 2016) โดยเรียงตามปีที่พิมพ์ และภาษาไทยก่อนภาษาอังกฤษ
5. ตารางและภาพประกอบ (ใช้ได้ทั้ง ไทย/อังกฤษ) เว้นระยะห่าง 1 บรรทัด โดยจัดพิมพ์แทรกในเนื้อเรื่อง การใส่หมายเหตุ (Footnote) ของตารางให้ใช้ระบบตัวเลขแสดงคำอธิบาย เช่น 1/, 2/ เป็นต้น ชื่อตาราง และภาพประกอบ (ตัวหนา) ให้วางอยู่เหนือตารางที่ เช่น **Table 1** Expected breeding value of ส่วนชื่อภาพประกอบให้วางอยู่ใต้ภาพ เช่น **Figure 1** The environments of human performance
6. การแสดงนัยสำคัญให้ใช้สัญลักษณ์ * หรือ ** สำหรับ $P < 0.05$ และ $P < 0.01$ ตามลำดับ หน่วยในตาราง และในเนื้อเรื่องให้ใช้ระบบเมตริกซ์ โดยใช้เป็นอักษรย่อ เช่น 100%, 15 ซม. และ 5 มก./มล. เป็นต้น และหากมีการแสดงค่าเฉลี่ยและค่า P-value ต้องแสดงค่า Standard error of mean (SEM) ประกอบ
7. เอกสารอ้างอิง (References) ซึ่งได้อ้างอิงในเนื้อเรื่อง ให้เขียนดังนี้
 - 7.1 เรียงลำดับเอกสารภาษาไทยก่อนภาษาอังกฤษ เรียงลำดับตามตัวอักษรและสระ และตามจำนวนผู้เขียน กรณีผู้เขียนคนเดียวให้เรียงตามปี
 - 7.2 การอ้างอิงวารสาร (Journal) ถ้าวารสารมีชื่อย่อให้ใช้ชื่อย่อ
เทียมพบ ก้านเหลือง, และปิยะดา ทวีศรี. 2559. ค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมในลักษณะผลผลิตน้ำนมของกระบือนม. สจล.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์. 1: 13 – 21.
Boor, K.J., D.P. Brown, S.C. Murphy, S.M. Kozlowski, and D.K. Bandler. 1998.
Microbiological and chemical quality of raw milk in New York state. J. Dairy Sci. 81: 1743 - 1748.
 - 7.3 ตำรา (Textbook) หรือหนังสือ (ไม่ต้องระบุจำนวนหน้า)
วรรณ ตังเจริญชัย. 2538. ปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพนมและผลิตภัณฑ์นม. พิมพ์ครั้งที่ 3. รุ่งเรือง, กรุงเทพมหานคร.
Walstra P., J.T.M. Wouters, and T.J. Geurts. 2006. Dairy science and technology. 2nd edition. Taylor and francis group, LLC; New York.
 - 7.4 วิทยานิพนธ์
เทียมพบ ก้านเหลือง. 2541. การประเมินค่าการผสมพันธุ์พ่อพันธุ์โคนมภายใต้สภาพแวดล้อมประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
 - 7.5 ประชุมวิชาการ (Proceedings)
เทียมพบ ก้านเหลือง, ปรีดา เนตตกุล, วราลี คงกระพันธ์, พรพรรณ พุ่มพวง, และสมศรี ภูเลี้ยง. 2551. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไฮโดรไลซายินและอัตราส่วนที่เหมาะสมของไบมันสำปะหลังหมักร่วมกับเปลือกสับปะรดที่ระยะเวลา 15, 21 และ 30 วัน. น.385-389. ใน: การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 4 “การรื้อฟื้นของการผลิตพลังงานทดแทนต่อการผลิตปศุสัตว์” 31 มกราคม 2551. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

Kanloun, T. R. Hengtrakunsin, D. Taemchuay, and P. Tavitchasri. 2014. Mathematical models of The lactation curve to monthly records milk production of Murrah buffalo in Thailand. p. 1472–1474. In: Proceeding of The 16th AAAP Congress. 10 -14 November, 2014. Yogyakarta, Indonesia.

7.6 สื่อวิชาการทาง Website ควรเลือกที่เป็นข้อมูลจากหน่วยงานของรัฐบาลหรือหน่วยงาน

สำนักเทคโนโลยีชีวภาพการผลิตปศุสัตว์. 2552. สมุดพ่อพันธุ์โคนม 2552: DLD Dairy sire summary 2009. กรมปศุสัตว์. http://biotech.dld.go.th/Data/Document_Announces/Siresummary/2552/Sire_Summary2552.pdf (20 กรกฎาคม 2556)

Oklahoma State University Board of Regent. 1996. Australian milking zebu. <http://www.ansi.okstate.edu/breeds/breeds/cattle/australianmilkingzebu/index.htm> (10 July 2013)