



รายงานฉบับสมบูรณ์

ชุดโครงการ การวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสมาและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
เพื่อพัฒนานวัตกรรมทางการเกษตร

โดย ผศ.ดร.หมุดตอเล็บ หนินสอ

เมษายน 2558

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสม่าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
เพื่อพัฒนานวัตกรรมทางการเกษตร

คณะผู้วิจัย สังกัด

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1. ผศ.ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ | มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์ |
| 2. ผศ.ดร.นฤมล มาแทน | มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์ |
| 3. ดร.วิสาขะ อนันดร์วัช | มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์ |
| 4. ดร.ภมรรัตน์ เกื้อเส้าง | มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์ |
| 5. ดร.ทนง เอี่ยวศิริ | มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์ |
| 6. นายไพรวัลย์ เกิดทองมี | มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์ |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

Executive Summary

โครงการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสม่าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อพัฒนาวัตกรรมทางการเกษตร ซึ่งจะดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้ว การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆในการปรับปรุงและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร การพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสิ่งแวดล้อม และจะมีการวิจัย 3 โครงการย่อยคือ

1. การพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันหอมระ夷ประสีทอภาพสูงจากพืชด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งประสบความสำเร็จในการพัฒนาเครื่องต้นแบบอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันหอมระ夷จากตะไคร้หอม ซึ่งสามารถสกัดได้ครั้งละประมาณ 5 กิโลกรัม มีเช่นเซอร์วัต อุณหภูมิของตะไคร้หอมแบบIR และเซ็นเซอร์แบบThermocoupleเพื่อวัดอุณหภูมิ Condensor สามารถทำงานกึ่งอัตโนมัติเพื่อควบคุมกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมกับเงื่อนไขในการสกัด
2. การเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับการวิเคราะห์ยาปราบวัวพืชเอตราซีนปริมาณน้อย โดยการใช้เครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง สามารถสังเคราะห์โพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับสารเอตราซีนโดยใช้เวลาคราวเดียว เพียง 2 ชั่วโมงทำให้ได้โพลิเมอร์ลอกแบบที่มีความจำเพาะเจาะจงในการวิเคราะห์เอตราซีนปริมาณน้อยในแหล่งน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อการเฝ้าระวังและควบคุมการตกค้างของสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้หากตรวจพบเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด
3. ผลกระทบของกระบวนการการทำแห้งต่อคุณลักษณะ คุณค่าทางโภชนาการและลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผง โดยได้พัฒนากระบวนการการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหมาะสม สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการและสารสำคัญได้มากที่สุด

ในการสร้างเครือข่ายเพื่อการพัฒนางานวิจัยอย่างต่อเนื่อง และการนำไปใช้ประโยชน์อย่างทั่วถึง ซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนานักวิจัยของศูนย์วิจัยความเป็นเลิศนวัตกรรมพิสิกส์ฯ สามารถหาทุนจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อวิจัยในการสร้างองค์ความรู้ และนวัตกรรมใหม่ ได้ดำเนินการสร้างเครือข่ายการวิจัยกับกลุ่มวิจัยต่างๆ และการสร้างเครือข่ายการนำไปใช้ประโยชน์ โดยได้ร่วมมือกับอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ การทำงานร่วมกับเครือข่ายประจำพื้นบ้าน อ่าวท่าศาลา และภาคอุตสาหกรรม

การพัฒนานักวิจัยใหม่และการบูรณาการกับการเรียนการสอนนั้น มีนักวิจัยใหม่ร่วมในโครงการ 3 คน มีนักศึกษาร่วมวิจัยทั้งระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา มีผลงานการนำเสนอทั้งในที่ประชุมระดับชาติและระดับนานาชาติ นอกจากนั้นยังได้สนับสนุนให้มีการพัฒนาโจทย์วิจัยใหม่ 2 เรื่องซึ่งเป็นความต้องการของชุมชนคือการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจากข้าวกล้องไข่มดรึ้น และการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อยืดอายุผลิตภัณฑ์น้ำดอกอัญชัน

ส่วนการถ่ายทอดเทคโนโลยีไมโครเวฟเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่และสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนนั้น ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชนหรือผู้ประกอบการ 7 กลุ่ม จัดอบรมเชิงปฏิบัติการ 2 ครั้ง ร่วมแสดงนิทรรศการงานวิจัย 1 ครั้ง ซึ่งทำให้เกิดผู้ประกอบการใหม่ ศูนย์การเรียนรู้การอบรมแห่งโอกาสในการประกอบอาชีพของชุมชน และการพัฒนาวัตกรรมใหม่ๆ

รหัสโครงการ	RDG56A0030
ชื่อโครงการ	การการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสม่าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อพัฒนา นวัตกรรมทางการเกษตร
ชื่อนักวิจัย	ผศ.ดร.หมุดตอเล็บ หนูสอ ผศ.ดร.นฤมล มาแทน ดร.วิสาขะ อนันธรัช ดร.ภนรรตตน์ เกื้อสัง ^{กุล} ดร.ทนง เอี่ยวงศิริ และนายไพรัชลัย กิตทองมี
หน่วยงาน	มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์
ที่อยู่	222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต การใช้พลังงาน และแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยอุตสาหกรรมเช่นอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น จีน และเกาหลีใต้ มีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย เช่นอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตโวชันเพื่อการบำบัดน้ำเสีย ยานยนต์ พลังงานและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ การเกษตรเป็นต้น สำหรับในประเทศไทยนั้นยังมีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวจำนวนมาก เนื่องจากมีราคาแพงและขาดแคลนบุคลากรที่มีความชำนาญ ในชุดโครงการวิจัยนี้ได้ใช้องค์ความรู้ของคลื่นไมโครเวฟ ที่ทางห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลาสม่าเพื่อการประยุกต์ทางการเกษตรมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดประสิทธิภาพสูงด้วยคลื่นไมโครเวฟ การเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับการวิเคราะห์ยาปราบวัวพืชเอตราเซินปริมาณน้อย และการแปรรูปฟักข้าวเพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และถ่ายทอดเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ และสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน นอกจากนั้นได้มีการพัฒนาโจทย์วิจัยใหม่ 2 เรื่องซึ่งเป็นความต้องการของชุมชนคือการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจากข้าวกล้องไข่มุก และการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อยืดอายุผลิตภัณฑ์น้ำดอกอัญชัน

Project code	RDG56A0030
Project title	Research and technological transfer on plasmas and electromagnetic waves for developments of agricultural innovations
Researcher name	Asst.Prof.Dr.Mudtorlep Nisoa, Assist.Prof.Dr.Narumol Matan, Dr.Visaka Anantawat, Dr.Pamonrat Kuaseung, Dr.Tanong Aewsiri and Priwan Kerdtongmee
Institute	Walailak University
Address	222 Taiburi, Tasala, Nakhon-si-thammarat

บทคัดย่อ

Microwave heating technology has been used for higher efficiency of production and energy uses by developed countries, such as Europe, America, China, Japan and South Korea. It has been implemented in microelectronics, ozone production for waste water treatment, automobile, energy and postharvest. In Thailand, because of shortage of microwave technologist and its high price, very few microwave heating technologies are available. In this research program, we apply the knowhow of microwave heating technology, developed by Plasma technology for agricultural applications research laboratory during the last 10 years, to develop microwave extraction technology, to prepare molecularly imprinted polymer for trace herbicide analysis and to develop drying process of Gac fruit powder to preserve its nutrition value. The microwave drying technologies are transfer to communities for increasing value added of their products and developing new products. In addition, we have studied 2 new research topics, required by communities, on developing food products for Kaw Kai Mod Rin, a local rice, and developing processing to extend the shelf life of beverage from butterfly pea flower.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	i
บทคัดย่อ	ii
สารบัญ	v
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ชุดโครงการย่อย	3
โครงการย่อย 1	4
โครงการย่อย 2	22
โครงการย่อย 3	63
บทที่ 3 การพัฒนาโจทย์วิจัยและนักวิจัยใหม่	93
บทที่ 4 การร่วมวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยี	133
บทที่ 5 สรุป	152
ภาคผนวก	
A Citronella grass	
B บทความวิจัย	
C ข้อเสนอโครงการเพื่อลดความซ้ำซ้อน	
D แผ่นพับข่าวไข่มดรีน	

บทที่ 1

ความเป็นมาและความสำคัญ

เทคโนโลยีพลาสmaและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เป็นเทคโนโลยีที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต การใช้พลังงาน และแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ในประเทศอุตสาหกรรมเช่นอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น จีน และเกาหลีใต้ มีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างแพร่หลาย เช่นอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ การผลิตโวชันเพื่อการบำบัดน้ำเสีย ยานยนต์ พลังงานและการปรับเปลี่ยนที่ การเกษตรเป็นต้น สำหรับในประเทศไทยนั้นยังมีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวจำนวนมาก เนื่องจากมีราคาแพง และขาดแคลนบุคลากรที่มีความชำนาญเพื่อที่จะสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนภาคใต้ ซึ่งประกอบอาชีพ การเกษตร มีผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด มีความจำเป็นจะต้องพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการ ปรับเปลี่ยนและการเก็บรักษา ทำให้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มและมีอำนาจในการต่อรองในการขายวัตถุดิบมาก ขึ้น นอกจากนี้ในการทำเกษตรจะมีการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชค่อนข้างสูง ทำให้มีสารพิษตกค้าง ในแหล่งน้ำที่จะเข้าสู่ห่วงโซ่ออาหารที่จะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นศูนย์ความเป็นเลิศเทคโนโลยี พลาสmaและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อพัฒนาวัตกรรมทางการเกษตร ซึ่งจะดำเนินการร่วมกับมหาวิทยาลัย ที่มีอยู่แล้ว การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆในการปรับเปลี่ยนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ อาหาร การพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสิ่งแวดล้อม และจะมีการวิจัย 3 โครงการย่อยคือ

1. การพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันหอมระ夷ประสิทธิภาพสูงจากพืชด้วยคลื่นไมโครเวฟ
2. การเตรียมโพลีเมอร์ลอกแบบสำหรับการวิเคราะห์ยาปราบวัวพืชเชื้อราชีวนิปริมาณน้อยโดย การใช้เครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง
3. ผลกระทบของกระบวนการทำแท่งต่อคุณลักษณะ คุณค่าทางโภชนาการและลักษณะ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผง

ในการวิจัยโครงการย่อยที่1 มีความต้องการที่จะพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร เพื่อที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสมุนไพรของภาคใต้ เพื่อการผลิตยา หรือ ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งจะสามารถสร้างอาชีพเสริมหรืออาชีพหลักให้กับเกษตรกรในอนาคต สำหรับการวิจัยเพื่อ พัฒนานาไฟส์เรกนั่นจะเน้นการสกัดสารสำคัญจากตะไคร้athom ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรที่สามารถปลูกได้ง่ายใน จังหวัดนครศรีธรรมราช สารสำคัญดังกล่าวจะสามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการไล่ยุงลาย ซึ่งเป็นยุงที่ เป็นพาหะของไข้เลือดออก ซึ่งในปัจจุบันมีการระบาดค่อนข้างสูงในภาคใต้และในจังหวัดนครศรีธรรมราช เทคโนโลยีดังกล่าวจะทำให้สามารถสกัดสารจากตะไคร้athomได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ที่จะสร้าง มูลค่าเพิ่มให้ตະไคร้athomและลดการระบาดของโรคไข้เลือดออก

สำหรับในการวิจัยในโครงการย่อยที่2 นั้นจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารเคมีที่ เป็นพิษที่ตอกค้างในแหล่งน้ำเนื่องจากการเกษตร เนื่องจากในภาคใต้และในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทำการเกษตร โดยในแต่ละปีมีการใช้ยาฆ่าแมลงเป็นจำนวนมาก โดยยาฆ่าแมลงส่วนใหญ่ จะตกค้างในผลผลิต ดิน และแหล่งน้ำ ดังนั้นในโครงการจยนี้จะพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณยาฆ่าแมลง

ที่ตอกค้างในแหล่งน้ำจืด ที่จะให้ทราบระดับความรุนแรงของการปนเปื้อน ที่จะแจ้งเตือนเกษตรกรและการอุกรະเบียบนโยบายที่เหมาะสมในการควบคุมการใช้ยาฆ่าแมลงต่อไป

ในโครงการย่อยที่ 3 นั้นจะเป็นพัฒนาองค์ความรู้ในการปรับปรุงฟักข้าว โดยเป็นพืชที่มีสรรพคุณเป็นยาตั้งแต่ใบ ผล เมล็ด และราก เป็นพืชที่มีทั้งวิตามินเอ กรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย สารในกลุ่มแครอทีนอยด์ และแคลเซียมสูงมาก และมีการค้นพบว่าเยื่อหุ้มเมล็ดของฟักข้าวมีสารไลโคปีนซึ่งเป็นสารต้านมะเร็ง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันให้รับร่างกาย และสามารถช่วยลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคโลหิตจางในเด็ก ภาคใต้และจังหวัดนครศรีธรรมราชมีศักยภาพในการปลูกฟักข้าวในเชิงพาณิชย์ได้ ดังนั้นการพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการปรับปรุงฟักข้าวจะสามารถทำให้สามารถมุ่งค่าเพิ่มได้ เป็นอาชีพเสริมหรืออาชีพหลักได้ และทำให้ชุมชนมีสมุนไพรที่มีคุณภาพในการดูแลสุขภาพ

โดยงานวิจัยทั้งสามจะเชื่อมโยงกับองค์ความรู้ของคลื่นไมโครเวฟที่ทางศูนย์ความเป็นเลิศมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถขยายฐานของนักวิจัยและการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีดังกล่าว ที่จะให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีไมโครเวฟอย่างแพร่หลายในประเทศไทยต่อไป และอนาคตจะมีการศึกษาความเป็นไปได้ใหม่ๆในการสร้างองค์ความรู้และเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆจากต้นดินของห้องถังที่จะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่ม และการบริโภคในชุมชน เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีพลาสมาและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสมในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การปรับปรุงและการเก็บรักษาผลผลิต
- เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบสารพิษตอกค้างในแหล่งน้ำที่ประทัยและรวดเร็ว
- เพื่อสร้างทีมวิจัยที่มีความเข้มแข็ง มีความพร้อมของบุคลากร ทั้งอาจารย์ นักวิจัย ช่างเทคนิค และ การบริหารจัดการ ซึ่งจะพัฒนางานวิจัยของมหาวิทยาลัยให้เป็นที่ยอมรับของสังคม สามารถสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม
- พัฒนาศูนย์การเรียนรู้เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนทางด้านการอบแห้ง การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การปรับปรุง และการตรวจสอบสารพิษตอกค้าง

3. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- มีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตรสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กและขนาดใหญ่ สามารถพึ่งพาตนเองทางเทคโนโลยีได้
- มีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีของชุมชน
- ลดการนำเข้าเทคโนโลยีราคาแพงจากต่างประเทศ
- พัฒนาบุคลากรที่มีความสามารถเฉพาะทางที่จะสร้างเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆในอนาคต
- เกิดศูนย์การเรียนรู้เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนทางด้านการอบแห้ง การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การปรับปรุง และการตรวจสอบสารพิษตอกค้าง

บทที่ 2
ชุดโครงการวิจัย

ประกอบด้วย 3 โครงการวิจัยย่อย

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 การพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันหอมระ夷ประสิทธิภาพสูงจากพืช
ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 การเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับการวิเคราะห์ยาปราบวัวพืชเอทรา
ชีนปริมาณน้อย โดยการใช้เครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง

หัวหน้าโครงการ ดร. ภัทรรัตน์ เกื้อเส้ง

โครงการวิจัยย่อยที่ 3 ผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อคุณลักษณะ คุณค่าทางโภชนาการ
และ ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์พักข้าวผง

หัวหน้าโครงการ ดร.วิสาขะ อนันธรวัช

โครงการย่อยที่ 1 เรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันหอมระ夷ประสิทธิภาพสูงจากพืช
ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

Development of high-efficient essential oil extraction from plants
by microwave

รายชื่อคณะวิจัย

1. ผศ.ดร. หมุดต่อเล็บ หนูสอ
2. ดร. สรณะ สมโน
3. นายไพรวัลย์ เกิดทองมี
4. นายอาทิตย์ พรรณา

ชื่อโครงการ การพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันหอมระเหยประสิทธิภาพสูงจากพืชด้วยคลื่นไมโครเวฟ

หัวหน้าโครงการ: ผศ.ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ

หน่วยงานต้นสังกัด : สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์

หน่วยงานร่วมโครงการ : มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์

ระยะเวลาดำเนินการ : 1 ปี 6 เดือน (วันที่ 25 กันยายน 2556 ถึง วันที่ 24 มีนาคม 2558)

1. วัตถุประสงค์

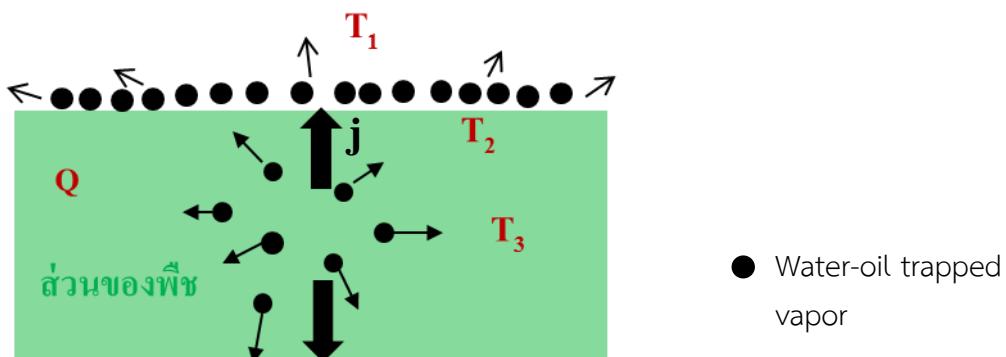
- 1.1 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีไมโครเวฟต้นแบบสำหรับการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพร
- 1.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบไมโครเวฟในการสกัดน้ำมันหอมระเหย
- 1.3 เพื่อพัฒนาระบบการวัดอุณหภูมิและการควบคุมการสกัด
- 1.4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากสมุนไพรโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟและการใช้ตัวทำละลาย

2. ผลการวิจัย

2.1 หลักการสกัดสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ

การสกัด(Extraction)สารซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีที่มีประโยชน์หรือสารสำคัญจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเป็นกระบวนการที่สำคัญในการวิจัยและการศึกษาทางด้านเคมี อาหาร การแพทย์ ยาและเครื่องสำอาง ที่จะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของประเทศไทยในอนาคต โดยปกติในการสกัดสารนั้นจะใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการแยกตัวของสารสำคัญออกมากโดยสารที่อุ่มน้ำนั้นจะมีลักษณะเป็นของเหลวหรือผลึก ซึ่งความร้อนเป็นสิ่งที่จะกำหนดคุณภาพทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสารที่สกัดออกมานะ วิธีการมาตรฐานเพื่อการให้ความร้อนในปัจจุบันจะใช้อ่างน้ำมันให้ความร้อน(oil bath) แผ่นให้ความร้อน(hotplate) หรือเตาหอลมให้ความร้อน(heatingmantel) ซึ่งพบว่ามีข้อจำกัดในการกระตุ้นให้เกิดการสกัด เนื่องจากไม่สามารถให้ความร้อนอย่างเพียงพอ ซึ่งเป็นผลมาจากการธรรมชาติในการส่งถ่ายความร้อนของวิธีการดังกล่าว ทำให้ใช้เวลานาน สิ้นเปลืองสารตัวทำละลาย และไม่สามารถสกัดสารบางอย่างได้ เป็นต้น การให้ความร้อนโดยใช้คลื่น

ไมโครเวฟเป็นวิธีการให้ความร้อนประสีทิภิภาพสูงในการกระตุ้นเพื่อการสกัดสาร ซึ่งได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องในระยะสิบกว่าปีที่ผ่านมา โดยในปัจจุบันได้รับการยอมรับจากนักเคมีทั่วโลกว่า “วิธีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นตะเกียง Bunsen แห่งศตวรรษที่ 21” คลื่นไมโครเวฟจะทำให้เกิดความร้อนในวัสดุที่เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอย่างรวดเร็วและอย่างทั่วถึง ไม่มีข้อจำกัดของปริมาณความร้อน และไม่ต้องอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากภาชนะ จึงทำให้สามารถสกัดสารเคมีได้อย่างรวดเร็ว สามารถลดเวลาในการสกัดจากหลายวัน หรือหลายชั่วโมง เป็นนาที หรือวินาที สามารถสกัดสารให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ลดการใช้สารตัวทำละลาย และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในปัจจุบันการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ได้ถูกนำมาใช้สกัดสารจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ทั้งเพื่อการศึกษาวิจัยและการพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น ยา สมุนไพร อาหารและเครื่องดื่มสุขภาพ น้ำมันหอมระ夷 และเครื่องสำอาง เป็นต้น[1-9]



รูปที่1 การแพร่ของไอน้ำมันหอมระ夷และไอน้ำเมื่อส่วนของพืชคูลกีนคลื่นไมโครเวฟ แล้วทำให้ด้านในของพืชมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านนอก โดยที่ $T_3 > T_2 > T_1$ เมื่อ T_3 คืออุณหภูมิภายใน T_2 คืออุณหภูมิที่ผิว และ T_1 คืออุณหภูมิของบรรยกาศ และ j คือ water-oil trapped water

รูปที่1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในชิ้นส่วนของพืช เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ การดูดกีนคลื่นไมโครเวฟจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น และทำให้อุณหภูมิภายในชิ้นส่วนของพืชสูงกว่า อุณหภูมิที่ผิวของมัน และสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยกาศ โดยที่ $T_3 > T_2 > T_1$ เมื่อ T_3 คืออุณหภูมิภายใน T_2 คืออุณหภูมิที่ผิว และ T_1 คืออุณหภูมิของบรรยกาศ การทำลายของเซลล์และความร้อนเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟจะทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำมันหอมระ夷และไอน้ำ(j)ออกจากพืชฯ กัน โดยที่ [10]

$$\mathbf{j} = \rho_0 D_e (\nabla M + \delta \nabla T)$$

เมื่อ ρ_0 คือ density of dry plant skeleton, D_e คือ effective diffusivity of vapors, ∇M คือ vapor density, δ คือ Thermal gradient coefficient และ ∇T คือ Temperature gradient โดยที่ D_e จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

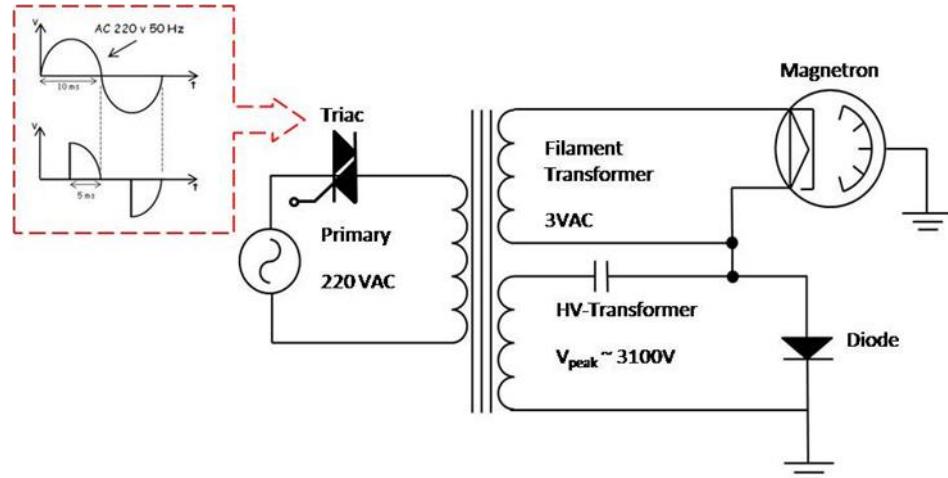
เอกสารอ้างอิง

1. P. Tatke and Y. Jaiswal, *An overview of microwave assisted extraction and its application in herbal drug research*, Research Journal of Medicinal Plants 5(1): 21-31, 2011
2. M. Desai, J. Parikh and P. A. Parikh, *Extraction of Natural Products Using Microwaves as a Heat Source*, Separation & Purification Reviews, 39:1-32, 2010
3. M. E. Lucchesi, F. Chemat and J. Smadja, *Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation*, Journal of Chromatography A, 1043 (2004) 323-327
4. N. Afoakwah, J. Owusu, , C. Adomako and Teye E. *Microwave assisted extraction*, Global journal of bio-science and biotechnology, 1(2), 2012, 132-140
5. Xiao-Juan Li, Wei Wang, MengLuo, Chun-Ying Li, Yuan-Gang Zu, Pan-Song Mu and Yu-Jie Fu, *Solvent-free microwave extraction of essential oil from Dryopterisfragrans and evaluation of antioxidant activity*, Food Chemistry 133 (2012) 437-444
6. Xiaoqiang Chen, Ying Zhang, YuangangZu, Yujie Fu and Wei Wang, *Composition and biological activities of the essential oil from Schisandrachinensis obtained by solvent-free microwave extraction*, LWT - Food Science and Technology 44 (2011) 2047e2052
7. Marie E. Lucchesi, FaridChemat and Jacqueline Smadja, *Composition and biological activities of the essential oil from Schisandrachinensis obtained by solvent-free microwave extraction*, LWT - Food Science and Technology 44 (2011) 2047-2052

8. Chun-hui Ma, Lei Yang, Yuan-gang Zu and Ting-ting Liu, *Optimization of conditions of solvent-free microwave extraction and study on antioxidant capacity of essential oil from Schisandrachinensis (Turcz.) Baill*, Food Chemistry 134 (2012) 2532–2539
9. W. Routray and V. Orsat, *Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review*, Food Bioprocess Technol (2012) 5:409–424
10. P. G. Jolly, *Temperature controlled combined microwave-convection drying*, J. MICROWAVE POWER, 1986, p. 65-74

2.2 การออกแบบและสร้างระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

2.2.1 การพัฒนาชุดวงจรการควบคุมที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้าแรงสูง

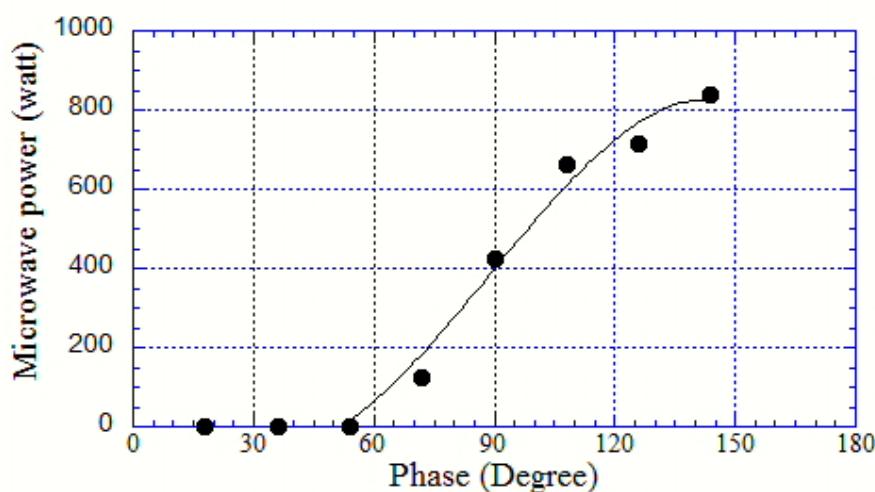


รูปที่ 2 วงจรการควบคุมการทำงานของแมกนีตอรอนโดยใช้ไตรแอคในการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับของหม้อแปลงเพื่อให้สามารถปรับกำลังของไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง

การควบคุมการทำงานของแมกนีตอรอนให้สามารถกำหนดกำลังไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง และสามารถควบคุมได้นั้น เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการให้ความร้อนที่ต้องการการควบคุม เช่น การอบแห้ง การสกัดสาร หรือการกรองผู้ปฏิกริยาเคมี เป็นต้น สำหรับวิธีการที่นิยมในปัจจุบันคือการควบคุมไฟฟ้าของสัญญาไฟฟ้าอินพุท (Line voltage) ความถี่ 50 Hz ที่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ โดยมุ่งไฟฟ้าของหนึ่งลูกคลื่นจะมีค่าระหว่าง 0-360 องศาตามแนงที่ความต่างศักย์มีค่าเป็นศูนย์เรียกว่าตำแหน่งจุดศูนย์หรือ Zero-Crossing จากรูปที่ 2 การควบคุมกำลังไมโครเวฟสามารถแยกการทำงานเป็น 3 ส่วน ทำงานร่วมกันให้สามารถควบคุมกำลังคลื่นไมโครเวฟได้ เริ่มด้วยไฟฟ้ามี

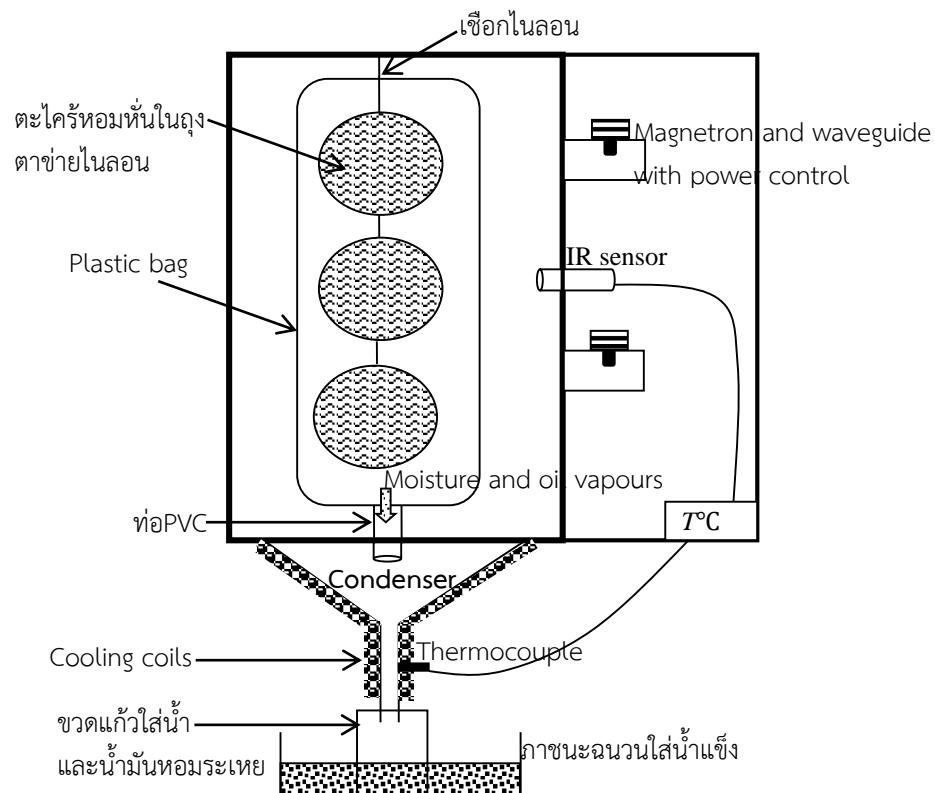
แรงดัน 220 โวลต์กระแสสลับ ความถี่ 50 เฮิรต ในหนึ่งความยาวคลื่นจะมีการเปลี่ยนรูปของเฟสสองครั้งคือเฟสที่เป็นบวกและเฟสที่เป็นลบทุก ๆ 10 มิลลิวินาที ชุดกำเนิดสัญญาณการเปลี่ยนเฟส (Zero crossing sensor) ทำหน้าที่ค่อยตรวจสอบสัญญาณการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณไฟฟ้าและส่งสัญญาณไปยังชุดประมวลผล (MCU Processing) เมื่อชุดประมวลผลได้รับสัญญาณการเปลี่ยนเฟส (Input signal) แล้วจึงนำเอาค่าแรงดันอ้างอิงจาก ตัวต้านทานปรับค่าได้(Potentiometer) ตั้งแต่ 0 – 5 โวลต์ ซึ่งเป็นสัญญาณ Analog เปลี่ยนเป็นสัญญาณ Digital ได้จำนวน 1024 ค่า ไปประมวลผลแล้วส่งสัญญาณออกไป (Output signal) สัญญาณที่ส่งไปนี้เป็นสัญญาณสำหรับจุดขาเกตของไตรแอด (Triac) ให้นำกระแสอยู่ในช่วงไม่เกินครึ่งควบ (T/2) หรืออยู่ในช่วง 0 – 10 มิลลิวินาที แต่เนื่องจากการจุดขาเกตของไตรแอดเป็นไฟฟ้าแรงดันสูง ชุดประมวลผลไม่สามารถทำได้โดยตรง เพราะแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมากจากชุดประมวลผลมีค่า 5 โวลท์ จึงต้องผ่านอุปกรณ์แยกระหว่างไฟฟ้าแรงดันสูงกับแรงดันต่ำ (Opto isolator) เพื่อให้ไตรแอด นำกระแสที่มุ่งต่าง ๆ ของเฟสตั้งแต่ 0 – 180 องศา หรือ 0 – 10 มิลลิวินาที เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแมgnetiCore ต่อนได้ตามต้องการ การควบคุมกำลังไมโครเวฟโดยวิธีเฟสคอนโทรล ร่วมกับวงจร RC Snubber ทำให้สามารถควบคุมกำลังของไมโครเวฟได้อย่างต่อเนื่องระหว่าง 0 – 800 วัตต์ และมีความละเอียดในการปรับกำลังประมาณ 1 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่

3



รูปที่ 3 วงจรการควบคุมการทำงานของแมgnetiCore โดยใช้ไตรแอดในการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของหม้อแปลงเพื่อให้สามารถปรับกำลังของไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง

2.2.2 การออกแบบเครื่องตันแบบอุตสาหกรรมการสกัดตะไคร้หอมด้วยคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 4 แบบเครื่องตันแบบอุตสาหกรรมการสกัดตะไคร้หอมด้วยคลื่นไมโครเวฟขนาดความจุประมาณ 5 kg

รูปที่ 4 แสดงแบบของเครื่องตันแบบการสกัดตะไคร้หอมด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยมีห้องคลื่นแบบMulti-mode ขนาด $40 \times 40 \times 60 \text{ cm}^3$ ใช้แมgnetironขนาด 1500 วัตต์จำนวน 3 หัว โดยจะมีชุดควบคุมกำลังไมโครเวฟของแต่ละหัวแยกกัน ซึ่งสามารถจุตะไคร้หอมได้สูงสุดประมาณ 5 กิโลกรัม ในขณะสกัดจะวัดอุณหภูมิของตะไคร้หอมด้วยหัววัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด(IR sensor) ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมกับการสกัดได้ ในการสกัดตะไคร้หอมจะหันตะไคร้เป็นชิ้นเล็กๆใส่ในถุงตาข่ายในลอนแล้วแขวนในถุงพลาสติก เมื่อตะไคร้หอมดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นใบตะไคร้หอมจะทำให้เกิดไอของน้ำและไอของน้ำมันหอมระ夷 ไอทั้งสองจะดันผ่านห่อPVCด้านล่าง และจะถูกควบแน่นโดยCondenser โดยจะมีภาชนะแก้วร่วบรวมของเหลวที่ได้ซึ่งน้ำมันหอมระ夷ของตะไคร้หอมจะลอยออยู่ชั้นบน

2.2.3 ทำการพัฒนาระบบการวัดอุณหภูมิที่พิเศษของภาชนะและการทดสอบระบบการควบคุมอุณหภูมิและพลังงานของเครื่องไมโครเวฟ

เนื่องจากวัตถุที่ร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์จะปล่อยคลื่นเรือรังสีอินฟราเรดออกมาม ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ Black-body radiation โดยที่ความเข้มของรังสีจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด(IR thermometer)ขึ้น โดยจะสามารถวัดอุณหภูมิของวัตถุจากการระยะใกล้ได้ ซึ่งเป็นการวัดอุณหภูมิโดยไม่ต้องมีการสัมผัสกันระหว่างเทอร์โมมิเตอร์และวัตถุ(Non-contact measurement) เนื่องจากรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่ผ่านอากาศด้วยความเร็วแสง การวัดอุณหภูมิของวัตถุ

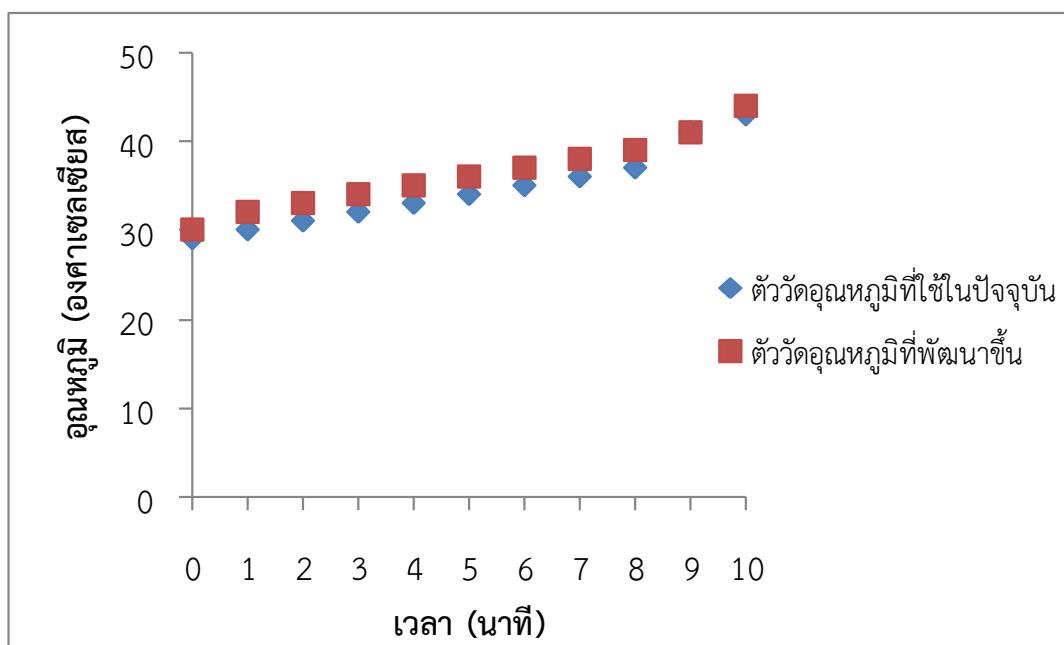


รูปที่5(a) หัววัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด(IR thermometer)และ (b) การเชื่อมต่อหัววัดกับคอมพิวเตอร์เพื่อการแสดงค่าและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอัตโนมัติ

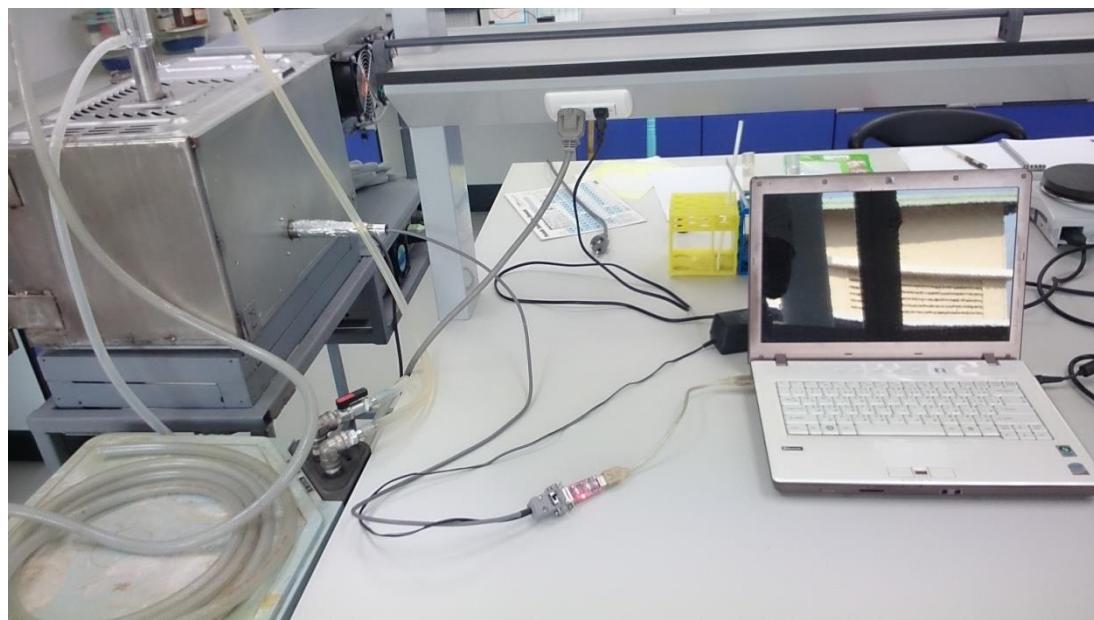
รูปที่5(a)แสดงลักษณะของเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด โดยจะมี Thermopile sensor ซึ่งอยู่ภายในห้องโลหะทรงกระบอก เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนและป้องกันความเสียหาย Thermopile sensor จะเปลี่ยนพลังงานอินฟราเรดเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณและวงจรสอบเทียบเพื่อแสดงค่าของอุณหภูมิ รูปที่5(b)แสดงการเชื่อมต่อหัววัดกับคอมพิวเตอร์เพื่อการแสดงค่าและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอัตโนมัติ ตารางที่1 และรูปที่ 6 แสดงผลการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรดที่ได้พัฒนาขึ้น โดยได้นำชุด IR thermometer ที่ได้พัฒนาขึ้นไปติดตั้งกับระบบ Microwave Synthesizer ดังแสดงในรูปที่7 และมีผลการสอบเทียบอุณหภูมิในตารางที่ 2 และรูปที่8 ซึ่งพบว่าสามารถถูกวัดอุณหภูมิของสารละลายได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 1 การสอบเทียบIR thermometerที่พัฒนาขึ้นกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานของห้องปฏิบัติการ

เวลา(นาที)	ตัววัดอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบัน(°C)	ตัววัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น(°C)
0	29	30
1	30	32
2	31	33
3	32	34
4	33	35
5	34	36
6	35	37
7	36	38
8	37	39
9	41	41
10	43	44



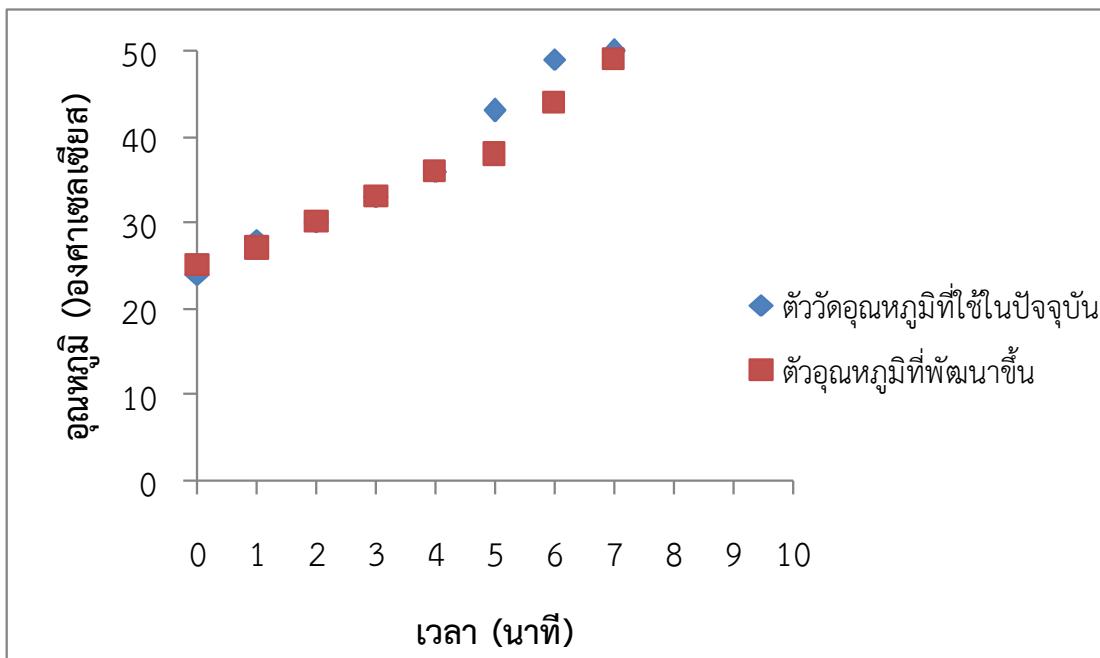
รูปที่6 กราฟเปรียบเทียบการทดสอบวัดอุณหภูมิชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบัน



รูปที่7 การติดตั้งIR thermometer กับระบบMicrowave synthesis system

ตารางที่ 2 การสอบเทียบIR thermometerเมื่อติดตั้งกับระบบMicrowave synthesis

เวลา(นาที)	ตัววัดอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบัน(°C)	ตัววัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้น(°C)
0	24	25
1	28	27
2	30	30
3	33	33
4	36	36
5	43	38
6	49	44
7	50	49
8	55	54
9	60	60
10	65	68



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบการทดสอบชุดวัดอุณหภูมิที่พัฒนาโดยนำไปติดตั้งกับ Microwave synthesis system

2.3 การเปรียบเทียบวิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม

เพื่อที่จะศึกษาประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ จะทำการเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดโดยการกลั่นด้วยน้ำ

2.3.1 การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ

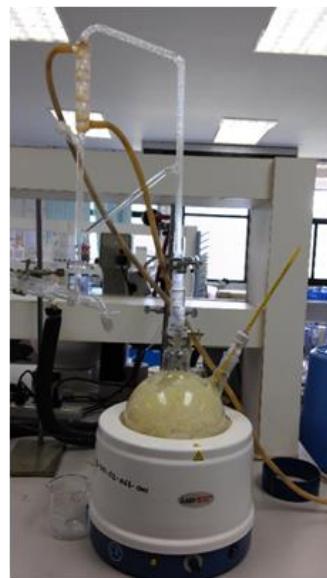
ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมสดับดายาบปริมาณ 100 กรัมด้วยเครื่อง Microwave hydrodistillation and gravity โดยใช้กำลังไมโครเวฟ 300, 500 และ 700 วัตต์ จากนั้นเก็บน้ำมันหอมระเหย น้ำมันหอมระเหยที่ได้นำมาวัดปริมาตรเพื่อคำนวนเปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระเหยที่ได้ (v/v) ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 เครื่องสกัด Microwave hydrodistillation and gravity

2.3.2 การสกัดด้วยการกลั่นด้วยน้ำ

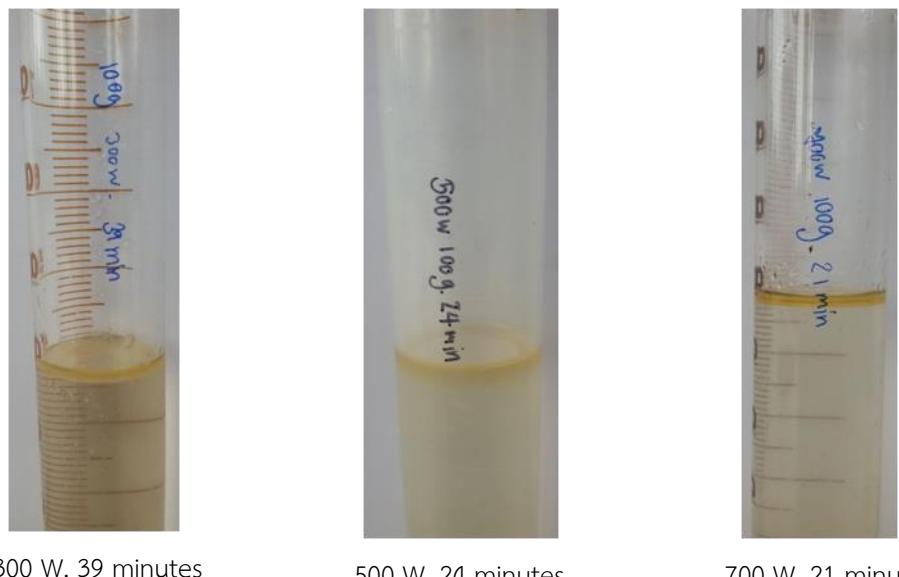
นำตัวไคร์ทอมมาบดให้ละเอียดแล้วใส่ใน Round bottom flask เติมน้ำกลั่นลงไปในอัตราส่วน ตะไคร้ราน้ำกลั่น เท่ากับ 1:4 ทำการกลั่นด้วยน้ำ(Hydrodistillation)เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 10 จากนั้นเก็บน้ำมันหอมระ夷 น้ำมันหอมระ夷ที่ได้นำมาวัดปริมาตรเพื่อคำนวนเปอร์เซ็นต์น้ำมันหอมระ夷ที่ได้(v/w)



รูปที่ 10 การกลั่นน้ำมันหอมระ夷ด้วยน้ำ (hydrodistillation)

ตารางที่ 3 แสดงผลการสกัดน้ำมันหอมระ夷จากตะไคร์ทอมโดยใช้คลื่นไมโครเวฟและการกลั่นด้วยน้ำ

วิธีการสกัด	กำลังไฟ	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณผลผลิต (Yield) %
การกลั่นด้วยน้ำ	ต้มเดือด	180	0.65 ± 0.07^a
ไมโครเวฟ	300 วัตต์	39	0.30 ± 0.03^c
	500 วัตต์	24	0.48 ± 0.05^b
	700 วัตต์	21	0.63 ± 0.04^a



รูปที่11 น้ำมันและน้ำที่กลั่นตัวจากไอทีอุกมาจากตะไคร้ห้อม



รูปที่12 น้ำมันห้อมระเหยที่แยกอุกมา

จากการทดลองสกัดน้ำมันห้อมระเหยจากตะไคร้ห้อมโดยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 2 วิธีได้แก่ การสกัดโดยการกลั่นด้วยน้ำ(hydrodistillation) และการสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave hydrodistillation) พบว่าปริมาณร้อยละของผลผลิต (% Yield) ของการกลั่นด้วยน้ำและการสกัดด้วยไมโครเวฟกำลัง 700 วัตต์ให้ผลผลิตใกล้เคียงกันร้อยละ 0.63-0.65 แต่การสกัดด้วยไมโครเวฟใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการกลั่นด้วยน้ำถึง 9 เท่า (21 นาที/180 นาที)

เนื่องด้วยข้อดีของวิธีการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งใช้หลักการส่งความร้อนเข้าไปโดยตรง ผ่านตัวอย่างพืชที่ใช้สกัด ตัวอย่างพืชนั้นจะดูดซับพลังงานความร้อนเข้าไป ทำให้อุณหภูมิ และความดันภายในเซลล์พืชเพิ่มสูงขึ้น โดยทำให้เซลล์พืชแตกสลาย และปลดปล่อยสารอุกมา จึงทำให้เป็นวิธีสกัดที่มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง อีกทั้งยังใช้ระยะเวลาในการสกัดสั้น ช่วยประหยัดการใช้พลังงาน นอกจากนี้การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟยังสามารถช่วยรักษาคุณภาพของน้ำมันห้อมระเหย จากการร้อนที่ใช้ในการสกัดที่อาจส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมันห้อมระเหย

2.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

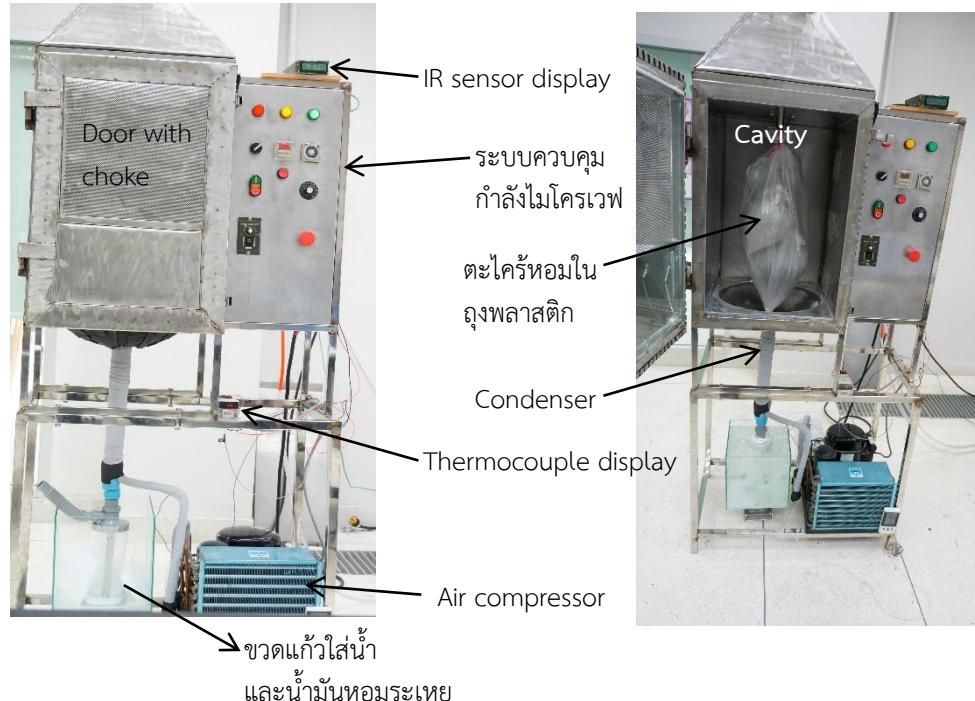
ข้อมูลต่าง ๆ	การสกัดด้วย วิธีการต้มกลัน	การสกัดด้วยไมโครเวฟ		
		300 วัตต์	500 วัตต์	700 วัตต์
ค่าใช้จ่ายด้านเงินลงทุน (Cc)				
ชุดสกัด (บาท)	10000	100000	100000	100000
มูลค่าซากคิดเป็น 5% ของเงินลงทุน (บาท)	500	5000	5000	5000
อายุการใช้งานอุปกรณ์ (ปี)	20	20.00	20	20
มูลค่าเงินลงทุนรวม (บาทต่อปี)	475	4750	4750	4750
%ร้อยละผลผลิต	0.65	0.30	0.48	0.63
ปริมาณที่สกัดได้ (มิลลิตรต่อปี)	156.00	332.31	864.00	1296.00
ค่าใช้จ่ายด้านเงินลงทุน (Cc) (บาทต่อมิลลิตร)	3.04	14.29	5.50	3.67
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา (CO&M)**				
ปริมาณวัตต่ำต่ำที่ใช้ (กิโลกรัมต่อน้ำมันสกัด 1 มล.)	0.15	0.33	0.21	0.16
ค่าใช้จ่ายด้านวัตต่ำต่ำ (Ref. 10 บาท/กก. (บาทต่อ 1 มล.ของน้ำมันที่สกัดได้)	1.54	3.33	2.08	1.59
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (O&M) (ร้อยละ 1 ของเงินลงทุน)	10.00	100.00	100.00	100.00
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาทต่อ 1 มล.)	0.0641	0.30	0.12	0.08
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา (CO&M) (บาทต่อมิลลิตร)	1.60	3.63	2.20	1.66
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (CE)				
ค่าไฟทั้งหมดที่ใช้ตลอดกระบวนการ (CE) (บาท ต่อมิลลิตร)	28.98	11.34	6.11	5.23
ต้นทุนการผลิตรวม CP = Cc+CO&M+CE	33.63	29.27	13.80	10.56
ข้อมูลอื่นๆ				
ระยะเวลาในการสกัดต่อครั้ง (ชั่วโมง)	3.00	0.65	0.40	0.35
จำนวนรอบที่ทำการสกัดได้ต่อวัน (เวลาทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน)	2.67	12.31	20.00	22.86
ปริมาณวัตต่ำต่ำที่ใช้ต่อการสกัด 1 รอบ (กิโลกรัม)	0.30	0.30	0.30	0.30
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย(บาทต่อหน่วย)	3.14	3.14	3.14	3.14
จำนวนวันทำการ (วัน/ปี)	300	300	300.	300
กำลังไฟที่ใช้ (วัตต์/ชั่วโมง)	600.00	500.00	700.00	900.00

* คิดต่อ 1 หน่วยสกัด

** ไม่รวมค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน

จะพบว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและวัตถุถูกกว่าการสกัดด้วยวิธีต้มกลันมากกว่า 2 เท่า

2.5 การสร้างและทดสอบเครื่องต้นแบบอุตสาหกรรมการสกัดตะไคร้ห้อมด้วยคลื่นไมโครเวฟ



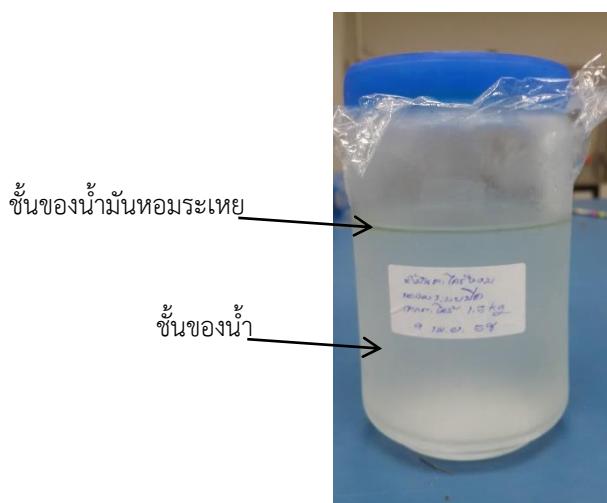
รูปที่ 13 เครื่องต้นแบบอุตสาหกรรมการสกัดตะไคร้ห้อมด้วยคลื่นไมโครเวฟขนาดความจุประมาณ 5 kg

รูปที่ 13 แสดงเครื่องต้นแบบการสกัดตะไคร้ห้อมด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยมีห้องคลื่นแบบ Multi-mode ขนาด $40 \times 40 \times 60 \text{ cm}^3$ มีประตุซึ่งติด Choke ที่ขอบประตุเพื่อป้องกันคลื่นรั่วไม่ให้เกิน 5 mW/cm^2 ระบบกำเนิดและควบคุมกำลังไมโครเวฟ ใช้แมgnition ขนาด 1500 วัตต์จำนวน 3 หัว โดยจะมีชุดควบคุมกำลังไมโครเวฟที่สามารถปรับกำลังได้อย่างต่อเนื่องซึ่งมีความละเอียดประมาณ 1 วัตต์ โดยห้องคลื่นสามารถจุตะไคร้ห้อมได้สูงสุดประมาณ 5 กิโลกรัม ในขณะสกัดจะวัดอุณหภูมิของ ตะไคร้ห้อมด้วยหัววัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (IR sensor) ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมกำลังไมโครเวฟ ที่เหมาะสมกับการสกัดได้ ในการสกัดตะไคร้ห้อมจะหันตะไคร้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในถุงตาข่ายในลอนแล้ว แขวนในถุงพลาสติก เมื่อตะไคร้ห้อมดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นใบตะไคร้ ห้อมจะทำให้เกิดไอของน้ำและไอของน้ำมันหอมระเหย ไอทั้งสองจะดันผ่านท่อ PVC ด้านล่าง และจะถูกควบแน่นโดย Condenser ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำสุดประมาณ -16 องศาเซลเซียส ไอน้ำและ

ไอ้น้ำมันหอมระ夷ที่ควบแน่นแล้วจะหยดลงในภาชนะแก้วซึ่งยึดติดกับท่อของ Condensor โดยภาชนะจะวางอยู่ในกล่องซึ่งบรรจุน้ำแข็งเพื่อรักษาอุณหภูมิของภาชนะที่จะลดการระเหยของน้ำมันหอมระ夷

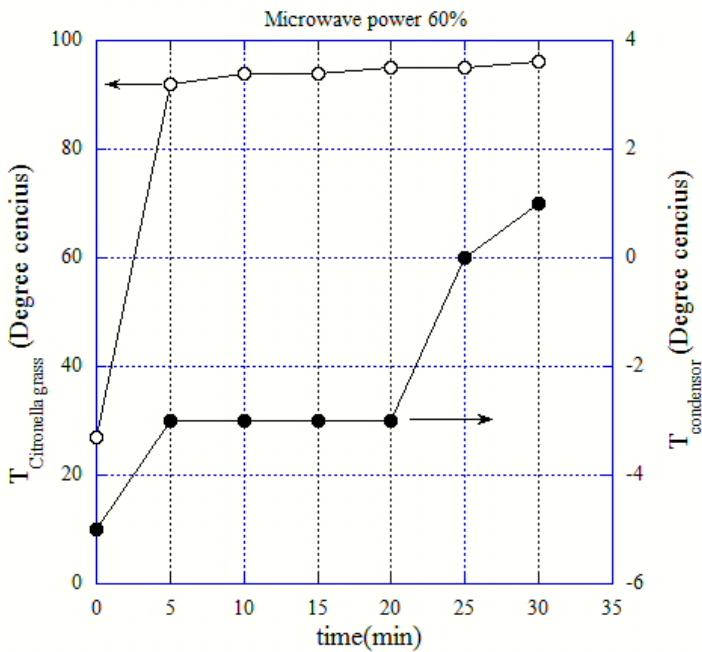


รูปที่ 14 ลักษณะของใบตะไคร้หอมซึ่งถูกหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ (ก) ใบสด (ข) ใบแห้งหลังจากถูกสกัดน้ำมันหอมระ夷ด้วยคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 15 ลักษณะของของเหลวที่ได้จากการควบแน่นออกจากใบตะไคร้หอมเมื่อถูกกระตันด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งประกอบด้วยชั้นของน้ำมันหอมระ夷 และชั้นของน้ำ

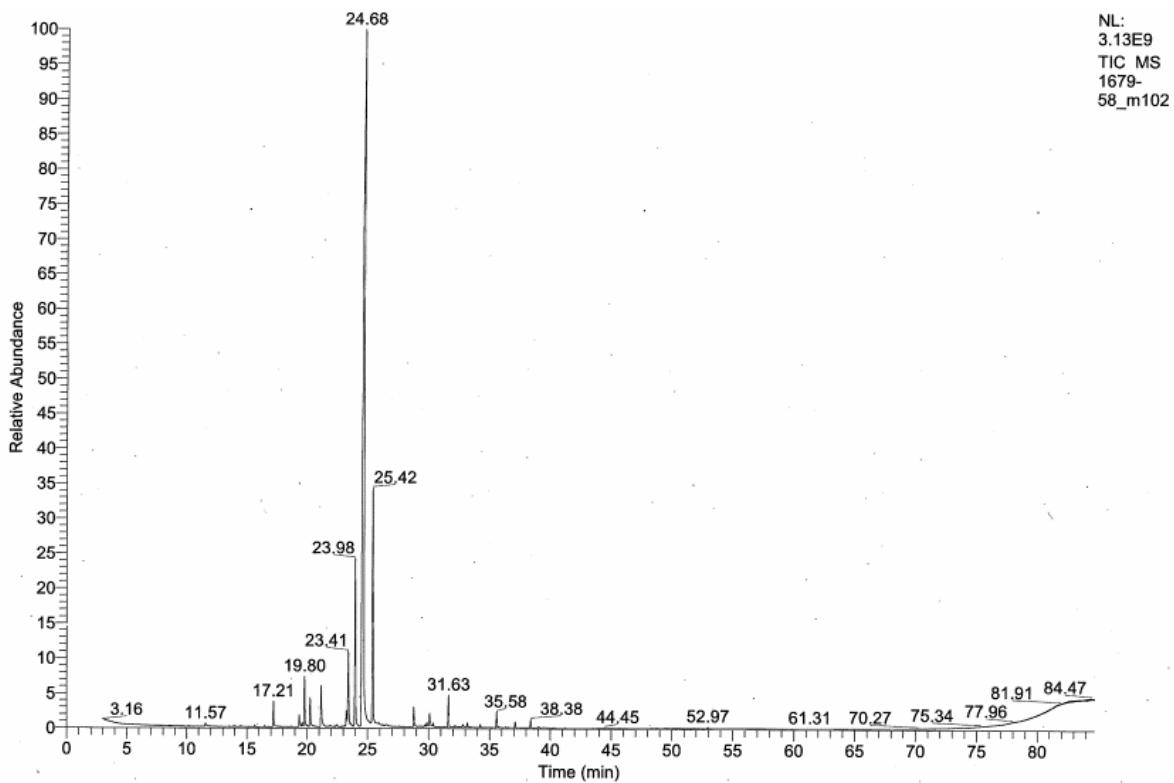
ในการทดสอบประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันหอมระ夷จากตะไคร้หอมของเครื่องตันแบบ ได้ใช้ตะไคร้สดจำนวน 1500 กรัม หลังจากอบแห้งแล้วเหลือตะไคร้แห้ง 750 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 14(ก) และ 14(ข)ตามลำดับ ของเหลวที่ได้จากการควบแน่นของไอจากใบตะไคร้หอมมีปริมาตรประมาณ 475 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีลักษณะแยกเป็นสองชั้นชัดเจน โดยชั้นของน้ำมันหอมระ夷อยู่ด้านบน และชั้นของน้ำอยู่ด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของตะไคร้หอม($T_{\text{Citronella grass}}$)และCondensor($T_{\text{Condensor}}$)ในช่วงเวลาของการสกัด 30 นาที

รูปที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของตะไคร้หอม($T_{\text{Citronella grass}}$)และ Condensor($T_{\text{Condensor}}$) ในช่วงเวลาของการสกัด 30 นาที จะเห็นว่าอุณหภูมิของตะไคร้หอมเพิ่มจาก 26 องศาเซลเซียสเป็น 92 องศาเซลเซียสใช้เวลาสั้นเพียง 5 นาที ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของการสกัดด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากตะไคร้หอมมีคุณลักษณะไมโครเวฟแล้วร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้น้ำและน้ำมันภายนอกมา

2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระ夷ของตะไคร้หอม



รูปที่17 Peaksองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry(GC-MS)

RT	Peak Area	Peak Height	Area %
11.57	105476707.34	1320511.06	0.24
11.93	16790385.70	1803891.40	0.04
14.51	18434086.14	3548066.89	0.04
15.66	27112665.50	6393874.29	0.06
16.48	22886859.81	5132886.25	0.05
17.21	467328095.44	105707010.44	1.06
17.49	21551393.32	3151444.27	0.05
18.70	21155147.41	3339990.74	0.05
19.38	244359185.97	50120425.16	0.55
19.60	104240770.91	18822500.76	0.24
19.80	900037417.64	210051023.57	2.04
20.04	38822429.28	7425491.54	0.09
20.26	585835208.09	119652868.84	1.33
20.59	16375803.79	3004300.70	0.04
20.70	15892871.61	2481244.13	0.04
21.18	959908587.97	173378745.67	2.17
21.72	21738163.00	3220199.02	0.05
21.93	48569727.15	5504866.26	0.11
22.43	71227444.10	8043800.87	0.16
23.02	16074602.96	3421475.48	0.04
23.12	21507373.87	4893308.79	0.05
23.26	317839894.29	68214837.92	0.72
23.41	1662146571.72	317278741.73	3.76
23.63	103890495.91	14655516.56	0.24
23.98	3173520157.97	702666787.14	7.19
24.67	28000312622.30	3000573179.11	63.41
25.42	4502195836.39	994999684.68	10.20
25.82	54995402.51	6423189.31	0.12
25.94	50246072.19	7915498.61	0.11
26.22	18766479.76	4109227.14	0.04
26.56	59882034.08	5276173.67	0.14
28.79	410998747.67	80087624.92	0.93
29.71	41345865.84	7859544.38	0.09
29.87	98583631.61	17696477.68	0.22
30.08	313484356.60	55392909.29	0.71
30.36	86004979.67	16095063.32	0.19
31.63	575646289.74	134460075.67	1.30
32.16	34422233.86	7871090.21	0.08
32.26	17684427.86	1882255.67	0.04
32.53	14296619.88	2205643.80	0.03
32.79	93010087.44	11305697.51	0.21
33.17	85389711.08	18339042.31	0.19
34.24	53326224.83	11303590.17	0.12
35.58	264422052.89	63409143.64	0.60
35.75	29707528.03	4987599.78	0.07
36.30	15383459.59	3169430.39	0.03
37.09	114531275.02	24232554.97	0.26
38.38	156868447.05	35356176.13	0.56
39.05	30831019.04	5297814.78	0.07
52.97	31881232.89	6635863.51	0.07

รูปที่18 ค่าของพื้นที่ Peaks(Peak Integration)ขององค์ประกอบต่างๆ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry(GC-MS) โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้Peaksขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอม ดังแสดงในรูปที่ 17 และค่าของพื้นที่ใต้ Peaks(Peak Integration) ดังแสดงในรูปที่ 18 และสามารถสรุปได้ว่าสารเอกลักษณ์ของตะไคร้หอมคือGeraniol มีจำนวนประมาณ 63.4%

2.7 ผลสำเร็จของกิจกรรมการวิจัย

ข้อเสนอโครงการ	ผลการดำเนินงาน	ผลสำเร็จ(%)	เหตุผล
พัฒนาชุดวงจรการควบคุมที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า และตักยึดไฟฟ้าแรงสูง	ได้ออกแบบวงจรการควบคุมการทำงานของแมกนีเตอรอนจำนวน 4 หัว โดยแต่ละหัวสามารถจ่ายกำลังไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง และสามารถควบคุมกำลังได้ 0 – 800 วัตต์	100%	-
ออกแบบและสร้างห้องคลีนแบบMulti-mode ที่มีความปลอดภัย	ได้ออกแบบระบบต้นแบบอุตสาหกรรมการสกัดตะไคร้หอมด้วยไมโครเวฟ มีห้องคลีนแบบMultimodesความจุห้องคลีนประมาณ 100 ลิตร มีคลีนร้อนต่ำกว่า 10 mW/cm^2	100%	-
ทำการพัฒนาระบบการวัดอุณหภูมิที่ผิวของภาชนะและการทดสอบระบบการควบคุมอุณหภูมิและพลังงานของเครื่องไมโครเวฟ	ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยใช้ IR Thermometer ซึ่งสามารถแสดงค่าอุณหภูมิและเก็บข้อมูลของอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ	100%	-
พัฒนาระบบการควบคุมย้อนกลับ(Feedback control) ที่จะทำให้สามารถควบคุมการสกัดได้อย่างแม่นยำ	ได้ติดตั้งระบบการควบคุมกำลังของแมกนีเตอรอน และระบบวัดอุณหภูมิของตะไคร้หอมและ Condensor ทำให้สามารถควบคุมการสกัดแบบกึ่งอัตโนมัติได้	75%	เนื่องจากต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหาการควบคุมการเคลื่อนที่ของไอเพื่อให้เคลื่อนที่ลงด้านล่างและการแก้ปัญหาของCondensor ที่จะสามารถควบแน่นໄວได้ <u>ซึ่งต้องใช้เวลาในการเปลี่ยน</u>

			<u>Condensor และเพิ่มค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและทดสอบ ทำให้ไม่สามารถเพิ่มโปรแกรมการควบคุมอัตโนมัติได้</u>
การทดสอบประสิทธิภาพของระบบไนโตรเจนในกระบวนการสกัดน้ำมันหอมระ夷จากตะไคร้ห้อม	ได้ทดสอบเครื่องต้นแบบอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันหอมระ夷จากตะไคร้ห้อม โดยใช้ตะไคร้ห้อม 1500 กรัม ควบแน่นของเหลวได้ 475 ลูกบาศก์เซนติเมตร (เครื่องต้นแบบห้องปฏิบัติการสามารถตะไคร้ห้อมได้ครั้งละ 100 กรัม ควบแน่นของเหลวได้ 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร)	100%	-
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการทดสอบประสิทธิภาพในการล่อชูงของน้ำมันหอมระ夷	ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และได้ศึกษาประสิทธิภาพในการไถยุงของตะไคร้ห้อมจากสำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	100%	
การเผยแพร่และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน	ร่วมมือกับดร.ชลทิต สนธิเมือง คณะกรรมการแพทย์แผนไทยเพื่อพัฒนาสปาอาลาล ที่จะสกัดน้ำมันหอมระ夷ของดอกชา หลาสำหรับAromatherapy ที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนต่อไป	20%	<u>เนื่องจากต้องใช้เวลาและงบประมาณในการแก้ปัญหาการควบแน่นของไออ เพื่อออกแบบและสร้าง Condenserที่มีอุณหภูมิต่ำเพียงพอที่จะควบแน่นไอของน้ำมันหอมระ夷 ดังนั้นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นยังไม่สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชนได้ เนื่องจากยังขาดความรู้เกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับท้องถิ่น โดยเฉพาะความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์</u>

โครงการย่อยที่ 2 เรื่องการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบเพื่อการวิเคราะห์ยาปราบวัชพืชปริมาณน้อย
 Microwave Heating for Preparation of Molecularly Imprinted Polymer for Trace Herbicide Analysis

โดย

รายชื่อคณาจารย์ 1. ดร. ภมรรัตน์ เกื้อเสง¹
 2. ดร. ชาลิต สนธิเมือง²

ชื่อโครงการ การประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบเพื่อการวิเคราะห์ยาปราบวัชพืชปริมาณน้อย

หัวหน้าโครงการ	: ดร. ภมรรัตน์ เกื้อเสง ¹
หน่วยงานต้นสังกัด	: สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวไลลักษณ์
หน่วยงานร่วมโครงการ	: คณะกรรมการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสารพิษตอกเคืองในสิ่งแวดล้อมมีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่น ยาปราบศัตรูพืชและสัตว์ เป็นต้น ซึ่งสารพิษเหล่านี้มักตกค้างและปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมในปริมาณน้อยจนถึงน้อยมาก (trace level) เมื่อมนุษย์และสัตว์ได้รับสารพิษเหล่านี้เข้าไปแม้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ก็สามารถเกิดการสะสมในร่างกายและอาจก่อให้เกิดโรคหรือความผิดปกติอ่องคายได้ โดยในจังหวัดนครศรีธรรมราชนั้น ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกร โดยมีพื้นที่ทั้งหมดในจังหวัด 6,214,064 ไร่ พื้นที่อีกรองเพื่อการเกษตร 3,062,459 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 49.28 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่การเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญได้แก่ ยางพารา ข้าว มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน และผลไม้ต่างๆ เช่น แตงโม เงาะ ลองกอง ทุเรียน มังคุด ส้มโอ เป็นต้น (สำนักงานจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2557) เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและกำจัดโรคพืช ดังนั้นเกษตรกรจึงมักมีการใช้ยาปราบศัตรูพืช ซึ่งมีทั้งยาน้ำ ยาผง ที่สามารถใช้แบบพ่นเป็นพงหรือผสมน้ำฝนเป็นலะของ ทำให้เกิดการตกค้างของสารพิษในนินและแหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำทะเลสาบ ลำธาร แหล่งน้ำใต้ดิน เช่น บ่อน้ำบาดาลได้

เมื่อมีการสะสมของสารเคมีในห่วงโซ่ออาหาร สารเคมีจะจัดศัตรูพืชนั้นไม่ได้คงอยู่เฉพาะในบริเวณพื้นที่การเกษตร แต่มักจะแพร่กระจายออกไปในสิ่งแวดล้อม เพราะน้ำที่เหลือผ่านแปลงเกษตร ที่มีการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช จะไหลลงไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีในระบบนิเวศอย่างกว้างขวาง สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำอาจได้รับผลกระทบโดยตรงจากสารเคมีเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกันทางของปลา ทำให้ปลาเป็นโรคต่างๆ ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้สารเคมีเหล่านี้ ซึ่งย่อยสลายช้า อาจจะไปสะสมอยู่ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตต่างๆ และส่งผลเสียอย่างมากต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้ายในห่วงโซ่ออาหาร

เอตรา齐น (Atrazine) เป็นยาปราบวชพืชชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วโลก โดยใช้ทั่วไปในการเกษตรทั้งก่อนและหลังการเพาะปลูก (EPA, 2003; Mizota and Ueda, 2006) สำหรับประเทศไทย ในปี 2542 ได้มีการนำเข้าเอตรา齐นถึง 1,030 ตัน (มีสารออกฤทธิ์ 824 ตัน) คิดเป็นมูลค่า 129 ล้านบาท มาใช้กำจัดวชพืชในไร่ข้าวโพด อ้อย และข้าวฟ่าง อัตราการใช้เฉลี่ย 500-1,000 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร (วงศ์แก้วและลิขิตบรรจุรุ่ง, 2552) ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 พบร่างกายมีการนำเข้ายาปราบวชพืชที่มีองค์ประกอบของสารเอตรา齐นในปริมาณมากถึง 3,686,650 กิโลกรัม (Anong et al., 2012) โดยเอตรา齐นมีจำนวนมากมายในเชื้อการค้าต่างๆ เช่น อาทรา齐น เอเทรีก 90 ดับบลิวจี เอตรา齐น 50 เอสซี อะมีทรีน 80 ดับเบิลยูจี (เจียไต์, 2557)

เอตรา齐นมีความเป็นพิษสูงโดยจัดเป็นสารรบกวนการทำงานของฮอร์โมน (endocrine disrupting chemicals) (ATSDR, 2013) โดยเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของฮอร์โมนในเลือด ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตอกไข่และการสืบพันธุ์ลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลเสียต่อตับ ไต และหัวใจในสัตว์ทดลอง สำหรับผลกระทบในมนุษย์นั้น พบร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงระดับของฮอร์โมน นิครร์ โดยเป็นสาเหตุให้การในครรภ์เจริญเติบโตช้ากว่าปกติ (ATSDR, 2011) สารนี้ถูกพบในอย่างน้อย 20 ใน 1,636 ของสารที่มีความเป็นพิษลำดับต้น ๆ ที่กำหนดโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency, US EPA) (ATSDR, 2011) เนื่องจากการใช้เอตรา齐นในการปราบวชพืชอย่างแพร่หลาย จึงส่งผลให้สารพิษนี้สามารถแพร่กระจายและตกค้างในสิ่งแวดล้อมลงสู่แหล่งน้ำในพื้นที่เกษตรกรรม แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินต่าง ๆ จนไปถึงแหล่งน้ำอุปโภคและบริโภค ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อมนุษย์และสัตว์ที่ได้บริโภคหรือใช้น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นได้ จากการ

เป็นพิษตั้งกล่าวทำให้ US EPA ได้กำหนดระดับการปนเปื้อนของเอทราซีนสูงสุด (Maximum Contaminant Level; MCL) ให้มีได้ไม่เกิน 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำอุปโภคและน้ำดื่ม (EPA, 2006)

แม้ปริมาณสารเอทราซีนที่ตรวจพบมักมีปริมาณน้อยแต่ย่อมส่งผลเสียต่อร่างกายได้มาก จากความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ตั้งกล่าว ทำให้การวิเคราะห์สารเอทราซีนที่ตกค้างในแหล่งน้ำในสิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญและจำเป็นต้องมีวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่จะสามารถวิเคราะห์สารเอทราซีนที่มีปริมาณน้อยได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการวิเคราะห์สารที่มีปริมาณน้อยนั้น บางครั้งเทคนิควิเคราะห์ (analytical technique) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่นั้นอาจไม่สามารถตรวจจับปริมาณสารที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง (sample preparation) ก่อนนำไปวิเคราะห์โดยเทคนิควิเคราะห์ที่เหมาะสม เพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่สนใจวิเคราะห์ให้อยู่ในระดับที่เครื่องมือวิเคราะห์สามารถตรวจจับได้

การสกัด (extraction) คือเป็นการเตรียมตัวอย่างที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกสารที่สนใจออกจากองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่าง (matrices) ก่อนการวิเคราะห์ (Huck and Bonn, 2000) โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction; SPE) เป็นเทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพื่อสกัด ทำความสะอาดตัวอย่าง (clean up) และเพิ่มความเข้มข้น (preconcentration) ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ (Huck and Bonn, 2000; Pichon, 2000; Simpson, 2000) นิยมใช้แทนการสกัดด้วยตัวทำละลาย (liquid liquid extraction, LLE) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีข้อด้อยคือ ใช้เวลานาน มีขั้นตอนการทำที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน สิ้นเปลือง แรงงานและใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ปริมาณมาก (Meloan, 1999; Poole, 2003; Theodoridis and Manesiotis, 2002) ซึ่งมีความเป็นพิษและสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำการวิเคราะห์ได้ โดยตัวดูดซับของแข็งที่ใช้ในเทคนิค SPE จะทำหน้าที่ในการดูดซับสารที่สนใจ แต่ไม่ดูดซับสิ่งสกปรกหรือสารปนเปื้อนในตัวอย่างที่วิเคราะห์ สำหรับการคายการดูดซับ (desorption) สารที่สนใจนั้นออกจากตัวดูดซับ อาศัยตัวทำละลายที่เหมาะสม (Simpson, 2000) ก่อนที่จะวิเคราะห์สารที่สนใจนั้นด้วยเทคนิควิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อไป

ตัวดูดซับของแข็งที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันและมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ คือตัวดูดซับชนิด ซี 18 (C_{18}) (Huck and Bonn, 2000; Simpson, 2000) ซึ่งตัวดูดซับชนิดนี้นิยมใช้ในการสกัดสารได้กว้างขวาง แต่มีข้อด้อยคือมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่ต่ำ ทำให้อาจสกัดสารบกวนอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการวิเคราะห์ออกมاد้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดสารที่มีปริมาณน้อยไม่ดีมากนัก เนื่องจากสิ่งรบกวนในตัวอย่างนั้นอาจบดบังสัญญาณในการวิเคราะห์สารที่สนใจไปด้วย นอกจากนี้ตัวดูดซับเหล่านี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูงและต้องใช้เวลาในการนำเข้า ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูงขึ้นและสิ้นเปลืองเวลา ดังนั้นการพัฒนาตัวดูดซับที่มีความจำเพาะเจาะจงสูงขึ้น มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง มีราคาไม่แพงและพร้อมใช้งานในห้องปฏิบัติการจึงมีความสำคัญ

โพลิเมอร์ลอกแบบ (Molecularly Imprinted Polymer, MIP) เป็นโพลิเมอร์ที่มีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อมोเลกุลต้นแบบ (template) โพลิเมอร์ MIP สามารถสังเคราะห์ได้จากโมเลกุลต้นแบบทำปฏิกิริยากับสารโมโนเมอร์ สารตัวเชื่อมโยงโมเลกุล สารที่ทำให้เกิดรูพรุนและสารริเริ่มปฏิกิริยา ภายใต้การเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรซั่นโดยการให้ความร้อนด้วยอ่างให้ความร้อน หรือการฉายแสงยูวี ในเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นนำโพลิเมอร์ที่ได้ไปจำจัดโมเลกุลต้นแบบออกด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลาย ทำให้ได้ MIP ที่มีความเฉพาะเจาะจงทั้งทางขนาด รูปร่างและหมุนฟังชันก์ต่อมोเลกุลต้นแบบ โดย

MIP มีข้อดีคือ มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่สนใจสูง ทำให้สารรบกวนอื่น ๆ จากตัวอย่างที่มีความซับซ้อน เช่น น้ำที่มีอนุภาคแขวนลอยสูงถูกสกัดร่วมกับมาน้อยหรือไม่มี มีความเสถียรทั้งทางกายภาพ และทางเคมีสูง เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับของแข็งในการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยได้ดี

ปัจจุบันโพลิเมอร์ลอกแบบ MIP สำหรับสารเอทรานินนั้นยังไม่มีจำหน่ายทางการค้า โดยมีเพียง MIP สำหรับสาร Beta-agonists และ Beta-blockers เท่านั้นที่มีจำหน่ายในต่างประเทศ (Supelco, 2013) ซึ่งหากต้องการใช้งาน MIP สำหรับสารนี้เพื่อการเตรียมตัวอย่างที่มีความจำเพาะเจาะจงสูงนั้น ต้องทำการสังเคราะห์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ MIP ที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้นยังมีข้อด้อยคือใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน (ประมาณ 20-24 ชั่วโมง) (Le Noir *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2009) เนื่องจากอาศัยการให้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยา โพลิเมอร์เรซั่นโดยการฉายแสงยูวี หรือจากอ่างให้ความร้อน นอกจากนี้ยังอาจไม่สามารถให้ความร้อนในกระบวนการสังเคราะห์ได้อย่างเพียงพอและทั่วถึง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนในการสังเคราะห์ MIP (Yuan *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2011) เพื่อลดเวลาในการสังเคราะห์ส่งผลให้เป็นการลดการใช้พลังงานโดยการให้ความร้อนโดยวิธีดังเดิมดังกล่าว เป็นเวลานาน ๆ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจากคลื่นไมโครเวฟ ทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรซั่นเกิดได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง (Deng *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 2009) โดยมีการสูญเสียพลังงานน้อยมากให้กับสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ ตัวทำละลาย และภาชนะที่ใช้บรรจุ จึงทำให้สามารถสังเคราะห์สารที่สนใจได้อย่างรวดเร็วและ省ดภกมากขึ้น

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการสังเคราะห์ MIP โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ยังมีข้อจำกัดและไม่มีการใช้อย่างแพร่หลายมากนัก เนื่องจากครื่องไมโครเวฟสำหรับใช้ในการสังเคราะห์สารที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ยังมีราคาแพงมาก อีกทั้งยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนในการสังเคราะห์โพลิเมอร์ย่อมสูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นการพัฒนาการเตรียม MIP โดยการใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการจึงมีความสำคัญ ทั้งเพื่อลดเวลา ค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์และการเตรียมตัวอย่าง และลดการนำเข้าเครื่องไมโครเวฟราคาแพงจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานโพลิเมอร์ลอกแบบที่เตรียมขึ้นเป็นตัวดูดซับของแข็งที่มีความจำเพาะเจาะจงสูงเพื่อการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ยาปรับวัยพิชปริมาณน้อยในแหล่งน้ำ ในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมในจังหวัดศรีธรรมราช เช่น พื้นที่สวนยางพารา แปลงปลูกผัก ไร่แตงโม เป็นต้น เพื่อการเฝ้าระวัง ให้ข้อมูลการปนเปื้อนสารปรابวัชพีชและโทไซที่มนุษย์และสัตว์จะได้รับแก่เกษตรกร เพื่อให้เกษตรกรได้ทราบนักถึงความเป็นพิษดังกล่าวและสามารถควบคุมการตกค้างของสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้หากตรวจพบเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในวัตถุประสงค์จากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์เองโดยคนไทยมาประยุกต์ใช้งานต่อยอดได้จริง ทั้งสำหรับการสังเคราะห์โพลิเมอร์ที่มีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อสารที่สนใจ สามารถเลือกเตรียมโพลิเมอร์ MIP ให้มีขนาดที่ต้องการได้และเตรียมโพลิเมอร์ได้ในปริมาณที่ต้องการและเหมาะสมที่จะใช้งาน

2. วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์

2.1 ศึกษาสภาพภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารเอทรานินด้วยเทคนิคคลิคิวติคromaทกราฟฟิสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography; HPLC)

2.2 ศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบตันทุนต่อและมีความจำเพาะเจาะจงสูง สำหรับการวิเคราะห์ยาปราบวัวชีฟ้อเทราซีนโดยการใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟที่สร้างขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ

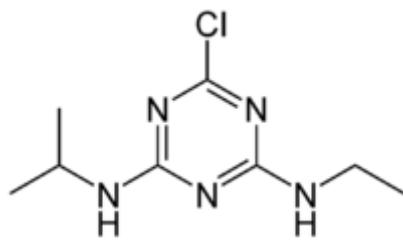
2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและเวลาในการเตรียมของโพลิเมอร์ที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีดังเดิมกับโพลิเมอร์ลอกแบบที่เตรียมโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

2.4 ประยุกต์ใช้โพลิเมอร์ลอกแบบที่เตรียมโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อการสกัด เพิ่มความเข้มข้น และทำความสะอาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ยาปราบวัวชีฟ้อเทราซีนปริมาณน้อยในแหล่งน้ำต่างๆ ในพื้นที่เกษตรกรรม

3. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นเกษตรกรรมมักมีการใช้ยาฆ่าแมลงและยาปราบวัวชีฟ้อที่ในการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร นำไปสู่การเพิ่มรายได้ของเกษตรกร การใช้สารเคมีเหล่านี้ ส่งผลกระทบอย่างมากต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพของมนุษย์และสัตว์ในระบบมนิเวศน์ เป็นอย่างมากจากการอาจ มีการตกค้างของสารพิษเหล่าจากการเกษตรสูงสุดในสัตว์และน้ำ 例如 เอตราซีน (Atrazine) หรือ 1-Chloro-3-ethylamino-5-isopropylamino-2,4,6-triazine (รูปที่ 1) เป็นยาปราบวัวชีฟ์ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กัน อย่างกว้างขวางทั่วไปและต่างประเทศ โดยจัดเป็นยาปราบวัวชีฟ์ที่นิยมนำเข้าโดยจัดเป็นอันดับเจ็ดของ การนำเข้ายาฆ่าแมลงทั่วหมดในประเทศไทย (Anong et al., 2012) โดยนิยมใช้พ่นคลุมดินก่อนวัวชีฟ์ งอกและหลังวัวชีฟ์งอกแล้วในระยะเริ่มต้นในไร่ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อยและสับปะรด เพื่อกำจัดวัวชีฟ์ ประเภทใบ凸形 เช่นหญ้ากานเช็มพู หญ้าดอกข้าวและหญ้าตีนกา และประเภทใบกว้างเช่น ผักโขมและ ผักโขมหิน เป็นต้น (เคมีเกษตรดอทคอม, 2554)

ในประเทศไทยพบปัญหาการตกค้างของสารเอตราซีนในปริมาณค่อนข้างสูง โดยมีรายงานการ ตรวจพบสารเอตราซีนที่ตกค้างในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยค่าเฉลี่ยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและดิน ตะกอนในช่วงฤดูฝนในปี พ.ศ. 2551 พบว่ามีปริมาณสารเอตราซีนตกค้างในตะกอนดินในแม่น้ำและน้ำ ผิวดินโดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 27.42 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมและ 4.7 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดย เอตราซีนที่ตรวจพบมีปริมาณเกินมาตรฐานที่กำหนด (0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบในตัวอย่างน้ำผิวดิน จำนวนมากถึง 15 ตัวอย่าง และมีการตกค้างของสารนี้คิดเป็นร้อยละ 39.5 ของตัวอย่างทั้งหมด (Anong et al., 2012) จักความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้การวิเคราะห์สาร เอตราซีนที่ตกค้างในแหล่งน้ำในสิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญและจำเป็นต้องมีวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม ที่จะสามารถตรวจสารนี้ในปริมาณน้อยได้ ซึ่งบางครั้งเทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ นั้นไม่สามารถตรวจจับปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ในปริมาณน้อยถึงน้อยมากได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้อง มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์โดยเทคนิควิเคราะห์ที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อสกัดสารที่สูงใจ ออกมากจากตัวอย่างให้มากที่สุด เพิ่มความเข้มข้นของสารที่สนใจวิเคราะห์ให้อยู่ในระดับที่เครื่องมือ วิเคราะห์สามารถตรวจจับได้และยังชัดสารรบกวนอื่นๆ ที่มีในตัวอย่างออกไอบอกด้วยเพื่อให้การ วิเคราะห์มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีความเฉพาะเจาะจงสูง



รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของอเอยราซีน

การสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็งเป็นเทคนิคการเตรียมตัวอย่างวิธีหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความสะอาดตัวอย่าง ปกติและเพิ่มความเข้มข้นของสารที่สนใจ ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน (Huck and Bonn, 2000; Pichon, 2000; Simpson, 2000) นิยมใช้แทนการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งมีข้อด้อยคือใช้เวลานาน และมีขั้นตอนการทำที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน สิ้นเปลืองแรงงาน ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ปริมาณมาก (Meloan, 1999) ซึ่งมีความเป็นพิษและสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยตัวดูดซับของแข็งที่ใช้จะทำหน้าที่ในการดูดซับสารที่สนใจ แต่ไม่ดูดซับสารปนเปื้อนของสารตัวอย่าง สำหรับการคายการดูดซับสารที่สนใจนั้นออกจากตัวดูดซับ โดยอาศัยตัวทำละลายที่เหมาะสม (Simpson, 2000) ก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อไป

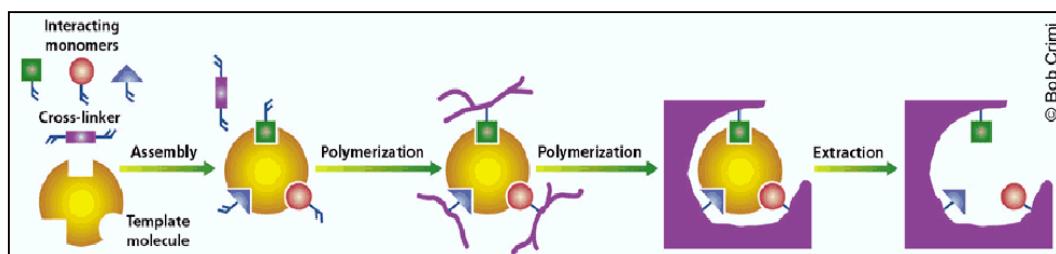
ตัวดูดซับของแข็งที่ใช้โดยทั่วไปในปัจจุบันมักเป็นตัวดูดซับที่มีสารพวง C18 มาจับกับชิลิกา ก่อนที่จะนำไปบรรจุลงในคาร์ทริดและทำหน้าที่คล้ายกับตัวทำละลายอินทรีย์ในเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยตัวดูดซับของแข็งที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันสำหรับสกัดและเพิ่มความเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์อเอยราซีน คือตัวดูดซับชนิด C18 (Asperger et al., 2002; Mattice et al., 1998) ตัวดูดซับสไตรีนไดวินิลเบนزنิส (styrene divinylbenzene) (Anh T K Tran et al., 2007) โอเอชิส เอชแอลบี (Oasis HLB) (Hildebrandt et al., 2008) และแอกติเวดเต็คคาร์บอน (activated carbon) (Ormad et al., 2008) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามตัวดูดซับเหล่านี้ยังมีความจำเพาะเจาะจงต่ำ (Masqué et al., 2001) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาตัวดูดซับที่มีความจำเพาะจงจงต่อสารที่สนใจสูงที่เรียกว่า โพลิเมอร์ลอกแบบ (Molecularly Imprinted Polymer, MIP)

MIP เป็นโพลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์รอยจาระดับโมเลกุลโดยในกระบวนการสังเคราะห์จะประกอบด้วยโมเลกุลต้นแบบ (template molecule) ซึ่งจะใช้สารที่สนใจในการวิเคราะห์เป็นต้นแบบโมเลกุลในการลอกแบบ สารฟังก์ชันโนโลโนเมอร์ (functional monomer) สารเชื่อมโยงพันธะ (crosslinker) สารที่ทำให้เกิดรูพรุน (porogen) และสารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator) ภายใต้การเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซน (polymerization) หลังจากนั้น เป็นการกำจัดโมเลกุลต้นแบบออกไปจากโพลิเมอร์ ซึ่งจะทำให้ได้สารโพลิเมอร์ที่มีข้อว่าง ซึ่งจะมีรอยจดจำของโมโนเมอร์ที่แน่นอนเฉพาะสารที่สนใจวิเคราะห์ (Vallano et al., 2000) ทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวเลือกเฉพาะที่มีความจำจงเป็นพิเศษ

ในการเตรียม MIP โดยทั่วไปเตรียมได้สามแบบ แบบแรกคือแบบโควาเลนต์ พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย G. Wulff และ Sarchan (1972) อ้างโดย Tamayo et al. (2006) เป็นการเกิดพันธะโควาเลนต์ที่ผันกลับได้ระหว่างโมเลกุลต้นแบบและโมโนเมอร์ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซน จากนั้นเป็นการกำจัดโมเลกุลต้นแบบออกไปจากโพลิเมอร์โดยการใช้ปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เพื่อทำลายพันธะโควาเลนต์ ซึ่งวิธีนี้มีข้อเสียคือการเลือกโมเลกุลต้นแบบและโมโนเมอร์ที่จะมาเกิดพันธะโควาเลนต์กันรวมทั้งการกำจัดโมเลกุลต้นแบบออกค่อนข้างทำได้ยาก ส่วนแบบที่สองคือแบบเซมิโควาเลนต์ (semi-covalent) โดยโมเลกุลต้นแบบเจ็บกับโมโนเมอร์ด้วยพันธะโควาเลนต์เช่นกันแต่การเข้าจับ

กันใหม่ (rebinding) ระหว่าง MIP ที่สังเคราะห์ได้กับสารที่ต้องการวิเคราะห์ (analyte) หรือโมเลกุลต้นแบบโดยการจับแบบนอน โคงาเลนต์

แบบที่สามคือแบบนอน โคงาเลนต์ Arshady et al. (1981) อ้างโดย Tamayo et al. (2006) ซึ่งเป็นที่นิยมมากกว่าสองแบบแรก อาศัยการเกิดอันตรกิริยาแบบนอน โคงาเลนต์ เช่น พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) อันตรกิริยาแบบไอโอนิก (ionic interaction) ระหว่างโมเลกุลต้นแบบและโมโนเมอร์ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรซั่น วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการเตรียม MIP เนื่องจากสามารถเตรียมได้ง่ายและสามารถหาโมโนเมอร์ที่จะเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลต้นแบบได้ง่าย (Tamayo et al., 2006) โดยมีขั้นตอนดังนี้ เมื่อผสมโมเลกุลต้นแบบ โมโนเมอร์เมอร์และสารเชื่อมโยง พันธะเข้าด้วยกันจะเกิดการจับกันระหว่างโมเลกุลต้นแบบและโมโนเมอร์ด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยกรด เม塔ครีลิก (metacrylic acid, MAA) เป็นโมโนเมอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ และมีprototonที่สามารถเกิดอันตรกิริยาแบบไอโอนิกได้ ส่วนสารเชื่อมโยงที่นิยมใช้คือเอทิลลีนไกลโคดิเมทอะคริเลต (ethylene glycol dimethacrylate, EGDMA) จากนั้นเติมสารเริ่มต้นปฏิกิริยา เช่น เอ-โซบิสไอโซบิวทิลโรไนไตรอล (azo-bisisobutyronitrile, AIBN) ลงไป โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นเมื่อสารเริ่มต้นปฏิกิริยาได้รับความร้อน (ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส) หรือฉายแสงยูวี จะแตกตัวเป็นเรดิคิลิสิระ (free radical) เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรซั่นแบบลูกโซ่ทำให้ได้โพลิเมอร์ จากนั้นนำมาระบายและร่อนคัดกรองให้ได้ขนาดที่ต้องการ แล้วกำจัดโมเลกุลต้นแบบออกมายาก MIP โดยสกัดด้วยตัวทำละลายเช่นเมทานอล ทำให้ได้โพลิเมอร์ที่มีรอยจดจำที่มีความจำเพาะทั้งทางด้านขนาด รูปร่างและหมู่ฟังก์ชัน ดังนั้นโพลิเมอร์ MIP ที่ได้มีคุณสมบัติของความจำเพาะเจาจงสูง มีรูปร่างและหมู่ฟังก์ชันพร้อมจับกับสารเป้าหมายที่ต้องการวิเคราะห์ นอกจาก MIP แล้วโพลิเมอร์ควบคุม (control polymer) หรือ (non-imprinted polymer, NIP) สามารถสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีการเดียวกัน แต่จะไม่เติมโมเลกุลต้นแบบลงไปเพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิง หลังจากผ่านขั้นตอนโพลิเมอร์เรซั่นแล้ว MIP ที่ได้จะถูกบดให้มีขนาดที่ต้องการสำหรับบรรจุในคาร์ทริดจ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างด้วย SPE โดยกระบวนการเตรียม MIP แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการเตรียม MIP (Molinelli, 2004)

แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการสังเคราะห์ MIP ที่ใช้กันโดยทั่วไปโดยวิธีดังเดิมนั้น ยังมีข้อด้อยคือใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน (ประมาณ 20-24 ชั่วโมง) (Deng et al., 1755; Dong et al., 2005; Le Noir et al., 2007; Yang et al., 2007; Yang et al., 2009) เนื่องจากอาศัยการให้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรซั่นโดยการฉายแสงยูวี หรือจากอ่างให้ความร้อน นอกจากนี้ยังอาจไม่สามารถให้ความร้อนในกระบวนการสังเคราะห์ได้อย่างเพียงพอและทั่วถึง โดย Kueseng และคณะ (2009)ได้สังเคราะห์ MIP สำหรับการวิเคราะห์เอทราเซ็นในแหล่งน้ำในสิ่งแวดล้อม โดยการให้ความร้อนจากอ่างให้ความร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรซั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องใช้เวลานานถึง 20

ชั่วโมง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวทำให้ได้มีการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนในการสังเคราะห์ MIP (Yuan et al., 2011; Zhang et al., 2010; Zhu et al., 2011) โดยที่สมบัติทางกายภาพและทางกลของโพลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับการสังเคราะห์แบบอื่น แต่มีข้อดีที่เด่นชัดคือ การใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อน ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เร็วขึ้นเกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ประหยัดเวลาในการสังเคราะห์ ส่งผลต่อการลดเวลาในการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ทำให้เทคนิคการสังเคราะห์โพลิเมอร์ด้วยวิธีนี้ใช้เวลาสั้นเช่น ในการสังเคราะห์ MIP สำหรับสารสารกลุ่มไตรเอซิน ใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมในอ่างให้ความร้อนซึ่งใช้เวลานานถึง 24 ชั่วโมง (Zhang et al., 2009) ซึ่งย่อมส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ลดลง ลดเวลาและพลังงานในการเตรียมโพลิเมอร์ แต่การสังเคราะห์สารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในประเทศไทยนั้นยังมีข้อจำกัด เนื่องจากเครื่องไมโครเวฟที่ใช้โดยทั่วไปในการสังเคราะห์โพลิเมอร์นั้นมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์และยังมีราคาสูงมาก อีกทั้งต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น ทำให้ต้นทุนในการสังเคราะห์โพลิเมอร์ขึ้นมาใช้เองในห้องปฏิบัติการสูงขึ้นไปด้วย

ดังนั้นการพัฒนาการสังเคราะห์โพลิเมอร์ลอกแบบโดยการใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการจึงมีความสำคัญ ทั้งนี้เพื่อลดเวลา ค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ การเตรียมตัวอย่าง นอกจากนี้ยังลดการนำเข้าเครื่องไมโครเวฟจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานโพลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นเป็นตัวดูดซับของแข็งที่มีความจำเพาะเจาะจงเพื่อการสกัด เพิ่มความเข้มข้น และทำความสะอาดตัวอย่างในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ยาปรับวัชพืชปริมาณน้อยในสิ่งแวดล้อม ร่วมกับเทคนิคลิควิດクロมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (HPLC)

4. ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 วิธีการศึกษา

4.1.1 การเตรียมสารละลายน้ำตราชานเออราชีน

1) เตรียมสารละลายน้ำตราชานเออราชีน ความเข้มข้น 1000 mg/L โดยการซั่งเออราชีน (ความบริสุทธิ์ 99%) 500 mg ในบีกเกอร์ ละลายด้วยเมทานอลแล้วปรับปริมาตรเป็น 10 mL

2) เตรียมสารละลายน้ำตราชานเออราชีน ความเข้มข้น 50 mg/L โดยปีเปตสารละลายน้ำตราชานเออราชีน 1000 mg/L ปริมาตร 250 μL ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอล

3) เตรียมสารละลายน้ำตราชานเออราชีน ความเข้มข้น 1 mg/L โดยปีเปตสารละลายน้ำตราชานเออราชีน 50 mg/L ปริมาตร 200 μL ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยเมทานอล

4) เตรียมสารละลายน้ำตราชานเออราชีนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ จำนวน 17 ความเข้มข้น ตั้งแต่ความเข้มข้น 0.1 μg/L ถึง 350 mg/L โดยการเจือจางจากสารละลายน้ำตราชานเออราชีน ความเข้มข้น 1000 mg/L ด้วยเมทานอลในปริมาตรที่เหมาะสม

หมายเหตุ เก็บสารละลายน้ำตราชานที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 4 °C

4.1.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารเอทราซีน ด้วยเทคนิค HPLC ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่

1) ความยาวคลื่นที่เหมาะสม

ทำการศึกษาโดยฉีดสารสารละลายมาตรฐานเอทราซีน ความเข้มข้น 1 mg/L ปริมาตร 20 μL เข้าสู่ระบบ HPLC โดยใช้ระบบฉีดสารอัตโนมัติ (autosampler) แล้วทำการการสแกนความยาวคลื่นของสารมาตรฐานเอทราซีนในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 400 นาโนเมตร (เนื่องจากตัวตรวจวัดชนิดนี้สามารถวัดได้ทีละหลายความยาวคลื่นในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ระบบประมวลผลของระบบ HPLC ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

พิจารณาเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด

2) อัตราส่วนของ mobile phase

mobile phase ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารเอทราซีนใช้ตัวทำละลายผสม 2 ชนิด คืออะซิโตไนโตรล (acetonitrile) กับน้ำ โดยพิจารณาถึงความเป็นข้า (polarity) ของสารเอทราซีน การรวมกันหรือการเข้ากันได้ของตัวทำละลายแต่ละชนิดที่จะนำมาผสมเพื่อใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนของ acetonitrile (%) ที่เหมาะสมในน้ำ โดยฉีดสารละลายมาตรฐานเอทราซีน ความเข้มข้น 1 mg/L ปริมาตร 20 μL เข้าสู่ระบบ HPLC ที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่เลือกแล้วในข้อ 4.2.1 โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนของ acetonitrile ในน้ำ เป็น 50, 60, 70, 80 และ 90% ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละอัตราส่วน

หมายเหตุ ก่อนจะนำ mobile phase มาใช้งาน mobile phase นั้นดังนั้นจำเป็นต้องกรองผ่านกระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.2 μm และใส่ฟองอากาศด้วย ultrasonic bath เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอย ตะกอน เพราะอาจรบกวนการวิเคราะห์และอาจทำให้คอลัมน์อุดตันได้

พิจารณาเลือกเปอร์เซ็นต์ของ acetonitrile ที่เหมาะสมโดยเลือกเปอร์เซ็นต์ของ acetonitrile ที่ให้ค่าการตอบสนองสูงสุด (ดูจากค่าพื้นที่ใต้กราฟของพิคสารเอทราซีน) มีประสิทธิภาพการแยกที่ดี (ดูจากค่า separation factor; α และ retention factor; k') และใช้เวลาวิเคราะห์สั้นที่สุด (ดูจากค่า retention time)

3) อัตราการไหลของ mobile phase

ศึกษาอัตราการไหลของ mobile phase ทำการศึกษาโดยฉีดสารสารละลายมาตรฐานเอทราซีน ความเข้มข้น 1 mg/L ปริมาตร 20 μL เข้าสู่ระบบ HPLC (ที่สภาวะที่เหมาะสมของ HPLC) โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของ mobile phase ที่อัตราการไหล 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 mL/min ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละอัตราการไหล

พิจารณาเลือกอัตราการไหลของ mobile phase ที่เหมาะสมจากการใช้ข้อมูลต่าง ๆ จากพิคของสารเอทราซีน เช่น retention time, peak area และนำมาใช้ในการทำแวนเดเมอร์พล็อต (van Deemter plot) ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างค่าความสูงของเพลตทางทฤษฎี (Height Equivalent to a Theoretical Plate, HETP) กับอัตราการไหล โดยพิจารณาเลือกอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมจากอัตราการไหลที่ให้ค่าความสูงของเพลตทางทฤษฎีต่ำสุด ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการแยกสูงที่สุด (Hamilton and Swell, 1982)

4.1.3 ศึกษาสมรรถนะของระบบ (system performance) HPLC

เพื่อยืนยันว่าระบบลิคิวิดโครมาโทกราฟนี้มีความถูกต้อง แม่นยำ และนำไปใช้เพียงพอ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ในตัวอย่างจริง จึงศึกษาสมรรถนะของระบบ HPLC โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1) ความแม่นยำในการตรวจวัด (precision)

ความแม่นยำ คือ การวัดความสามารถในการทำซ้ำของวิธีวิเคราะห์ภายใต้สภาวะปกติ ซึ่งปกตินั้นจะรายงานเป็นค่าความเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ที่จำนวนครั้งใดๆ (Swartz and Krull, 1997)

ทำการศึกษาโดยฉีดสารละลายมาตรฐานเอทราเซ็น ความเข้มข้น 1 mg/L ปริมาตร 20 μL เข้าสู่ระบบ HPLC (ที่สภาวะที่เหมาะสมของ HPLC) ทำซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าความแม่น จากค่าร้อยละของ relative standard deviation (%RSD) ของพื้นที่ตีพิคและ retention time ของสารเอทราเซ็น

ความแม่นยำในการตรวจวัดสามารถดูได้จากค่า %RSD โดยทำการวิเคราะห์ด้วยสารมาตรฐาน ทำซ้ำอย่างน้อย 5 ครั้ง ซึ่งค่า %RSD มีค่า $\leq 4\%$ สำหรับพื้นที่ตีพิค และค่า $\leq 1\%$ สำหรับค่า retention time (Snyder et al., 1997)

2) การตอบสนองเชิงเส้น (linear dynamic range; LDR)

การตอบสนองเชิงเส้นพิจารณาจากค่าความเป็นเส้นตรง คือ ความสามารถของวิธีวิเคราะห์ที่ตอบสนองต่อความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นสัดส่วนโดยตรงกันในช่วงช่วงหนึ่ง ค่าความเป็นเส้นตรงมักจะรายงานเป็นค่าความแปรปรวนของความชันของเส้นแสดงความถดถอย (regression line)

ศึกษาโดยการฉีดสารละลายมาตรฐานเอทราเซ็นที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ จำนวน 17 ความเข้มข้น (ตั้งแต่ความเข้มข้น 0.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ ถึง 350 mg/L) ปริมาตร 20 μL เข้าสู่ระบบ HPLC (ที่สภาวะที่เหมาะสมของ HPLC) และผลลัพธ์ภาพเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นกับค่า peak area ของเอทราเซ็น ทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละความเข้มข้น ค่าความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้ จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient) ควรจะมากกว่า 0.99 (Green, 1996)

3) ขีดจำกัดของการตรวจวัด (limit of detection, LOD)

ขีดจำกัดการตรวจวัดคือความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่สามารถตรวจวัดได้ ศึกษาโดยการฉีดสารละลายมาตรฐานเอทราเซ็นที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ (ตั้งแต่ความเข้มข้น 0.1 ถึง 20 $\mu\text{g}/\text{L}$) ปริมาตร 20 μL เข้าสู่ระบบ HPLC (ที่สภาวะที่เหมาะสมของ HPLC)

พิจารณาขีดจำกัดของการตรวจวัดจากอัตราส่วนระหว่างสัญญาณสัญญาณต่อสัญญาณ รบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม (signal to noise ratio; S/N ≥ 3) (Green, 1996)

4.1.4 การเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบ (MIP) สำหรับสารเอทราเซ็นโดยใช้การให้ความร้อนในการกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน ด้วยคลีนไมโครเวฟ โดยใช้เครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ

ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมโพลิเมอร์ MIP 2 แบบดังนี้

1. เตรียมแบบ precipitation polymerization

1) ผสมโมเลกุลตันแบบ (atrazine) (1 mmol) สารที่ทำให้เกิดรูพรุน (acetonitrile: toluene, 3:1 v/v) 100 mL สารโมโนเมอร์ (methacrylic acid; MAA) 7.8 mmol สารตัวเชื่อมโยงโมเลกุล (ethylene glycol dimethacrylate; EGDMA) 20.4 mmol และสารเริมปฏิกิริยา (azo (bis)-isobutyronitrile; AIBN)) 1.1 mmol ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 mL

2) ผ่านแก๊สอาร์กอนเพื่อไล่ฟองอากาศลงไปในขวดก้นกลม เป็นเวลา 5 นาที

3) ทำการโพลิเมอร์ไรซ์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ภายใต้อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำการคนด้วยแท่งคนแม่เหล็กและผ่านแก๊สสารกอนในระบบตลอดเวลา

4) นำสารแขวนลอยที่ได้มากรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นเก็บโพลิเมอร์ MIP ที่เตรียมได้เพื่อการนำไปกำจัดโมเลกุลต้นแบบในขั้นตอนต่อไป

หมายเหตุ ทำการสังเคราะห์ Non-imprinted polymer (NIP) โดยวิธีดังกล่าวข้างต้นแต่ไม่เติมโมเลกุลต้นแบบลงไปในปฏิกิริยา เพื่อใช้เป็นโพลิเมอร์ควบคุม

2. เตรียมแบบ bulk polymerization

1) ละลายโมเลกุลต้นแบบ (atrazine) ปริมาณ 1 mmol ลงใน toluene 7 mL ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดรูพรุน ผสมกันในหลอดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 30 mL

2) เติมสารโนโนเมอร์ (methacrylic acid; MAA) 4 mmol สารตัวเชื่อมโยงโมเลกุล (ethylene glycol dimethacrylate; EGDMA) 20 mmol และสารริเริ่มปฏิกิริยา (azo (bis)-isobutyronitrile; AIBN) 0.3 mmol ลงไปในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน นำไปใส่ฟองอากาศด้วยการผ่านแก๊สสารกอน เป็นเวลา 5 นาที นำหลอดทดลองที่มีสารผสมเหล่านี้ไปทำการโพลิเมอร์ไรซ์ในตู้ไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) นำหลอดทั้งสองหลอดมาทุบให้แตกแล้วแยก bulk polymer ที่เตรียมได้มาทำการบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร

4) ร่อน MIP และ NIP ผ่านตะแกรงร่อน (sieve) สแตนเลส ให้ได้ขนาด 36-106 ไมครอน นำสารโพลิเมอร์ที่ได้เก็บในขวดปิดฝ้าไว้ใช้งานต่อไป

หมายเหตุ ทำการสังเคราะห์โพลิเมอร์ Non-imprinted polymer (NIP) โดยวิธีดังกล่าวข้างต้นแต่ไม่เติมโมเลกุลต้นแบบลงไปในปฏิกิริยา เพื่อใช้เป็นโพลิเมอร์ควบคุม

4.1.5 การกำจัดโมเลกุลต้นแบบ (template) ออกจาก MIP ก่อนใช้ในการสกัดสารเอตรา齐น

ก่อนทำการบรรจุโพลิเมอร์ MIP และ NIP ลงในระบบอัตโนมัติเพื่อใช้เป็นตัวคูดชับของแข็งในการสกัดสารเอตรา齐นในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิค SPE นั้น ต้องนำโพลิเมอร์ที่เตรียมไว้ไปกำจัดโมเลกุลต้นแบบ (atrazine) ออกหรือกำจัดสารเอตรา齐นออกให้หมดก่อน เพื่อให้โพลิเมอร์มีรอยจดจำหรือ cavity ที่จะจับกับสารเอตรา齐นในตัวอย่างน้ำได้อย่างจำเพาะเจาะจง ทำโดยการห่อโพลิเมอร์ MIP และ NIP แยกใส่กระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อป้องกันการหลุดร่วงของพอลิเมอร์ หลังจากนั้นใส่กระดาษกรองลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายตัวทำละลายผสมของเมทานอล/กรดอะซิติก อัตราส่วน 4:1 (v/v) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการ sonicate โดยใช้เครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 30 นาที แล้ว sonicate ต่อในเมทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารเมทานอลที่ใช้ล้าง template ไปกรอง แล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC ทำชี้ในขั้นตอนการ sonicate และเปลี่ยนตัวทำละลายใหม่ทุกครั้ง จนกว่าจะไม่ปรากฏสัญญาณของสารเอตรา齐น ซึ่งแสดงว่าได้ล้าง template ออกจากโพลิเมอร์หมดแล้ว จะได้โพลิเมอร์ที่พร้อมใช้ในการสกัดเอตรา齐นในน้ำต่อไป

4.1.6 การเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับใช้เป็นตัวคูดชับในระบบอัตโนมัติ (SPE cartridge) เพื่อใช้ในการสกัดด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวคูดชับของแข็ง (Solid phase extraction)

1) เตรียมกระบวนการฉีดยาพลาสติกขนาด 6 mL 6 หลอด โดยใช้สำหรับบรรจุ MIP 3 หลอด NIP 3 หลอด

- 2) ใส่กระดาษกรอง GF/C รองภายในส่วนล่างของระบบอกรั่วด้วยโพลิเมอร์ จากนั้นซั่งโพลิเมอร์ MIP หรือ NIP 0.15 กรัม ใส่ลงไปในระบบอกรั่วหรือ SPE cartridge ที่ไม่ใช้งาน แล้ว แล้วปิดด้านบนโพลิเมอร์ด้วยกระดาษกรอง GF/C (รูปที่ 3)



4.1.7 การสกัดสารเอثارชีนด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid Phase Extraction; SPE) ในน้ำโดยใช้โพลิเมอร์ MIP และ NIP

นำระบบอกรั่วที่บรรจุด้วยโพลิเมอร์ MIP และมาการสกัดสารเอثارชีนในน้ำด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง โดยใช้อุปกรณ์สกัด Solid Phase Extraction ซึ่งประกอบด้วย vacumm pump และ SPE manifold ดังรูปที่ 4 โดยมีขั้นตอนในการสกัดดังนี้

1) Conditioning เป็นขั้นตอนการเตรียมเครื่องให้พร้อมใช้งานและสารตาก้างที่อาจติดอยู่บนตัวดูดซับ โดยการโหลดสารผสมระหว่าง methanol: acetic acid (MeOH: aa) (4:1 v/v) ปริมาตร 12 mL

2) Equilibration เป็นขั้นตอนการทำให้ตัวดูดซับเปียกด้วยตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ในที่นี้ทำการโหลดน้ำ DI ลงในเครื่อง ปริมาตร 5 mL

3) sample loading เป็นขั้นตอนโหลดสารตัวอย่างในที่นี้ใช้น้ำ DI ที่เติมสารละลายน้ำมารฐานเอثارชีนลงไป เพื่อศึกษาเร้อยละการได้กลับคืนหรือ % recovery ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการสกัดสารเอثارชีนในน้ำ โดยน้ำที่ใช้นี้มีความเข้มข้นของเอثارชีน 0.1 mg/L และใช้น้ำปริมาตร 100 mL โหลดผ่านเครื่องที่อัตราการไหล 3 mL/min ในขั้นตอนนี้เอثارชีนจะจับกับโพลิเมอร์ MIP แบบจำเพาะเจาะจง

4) Washing เป็นขั้นตอนการชำระล้างตัวรับกวนที่อาจตกค้างอยู่ในน้ำตัวอย่างและยังสามารถล้างสารอื่นในตัวอย่างที่เข้าจับกับ MIP แบบไม่จำเพาะเจาะจง (non-specific binding) ที่อัตราการไหล 3 mL/min โดยล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ชั้นที่เหมาะสม

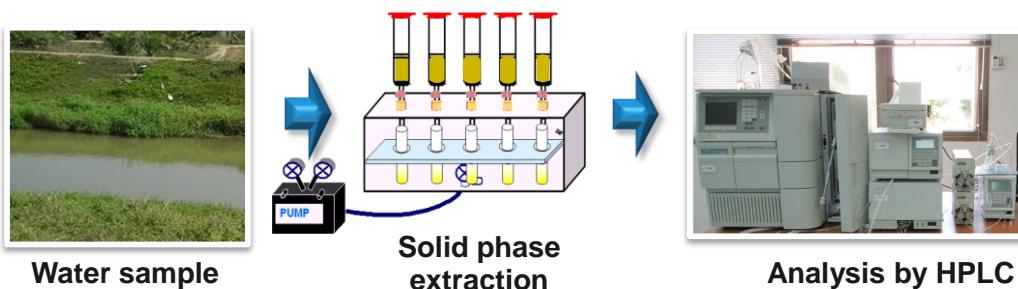
5) Drying เป็นขั้นตอนการทำให้สารทริคจ์แห้ง โดยการเปิดปั๊มเป็นเวลา 10 นาที ก่อนที่จะเปลี่ยนตัวทำละลายใหม่ในการชำระสารเออราซีนในขั้นตอนสุดท้าย

6) Elution เป็นขั้นตอนการชำระสารเออราซีนที่จับอยู่กับ MIP ออกมานอกในหลอดทดลองขนาด 13 mL โดยใช้เมทานอลเป็นตัวช่วยในปริมาตรที่เหมาะสมที่อัตราการไหล 1 mL/min ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปริมาณเออราซีนต่อไป

หลังจากได้สารสกัดแล้ว ขั้นต่อไปเป็นการระเหยตัวทำละลายเมทานอลออกโดยใช้ rotary evaporator จากนั้นปรับปริมาตรด้วยเมทานอล ปริมาตร 1 mL กรองผ่าน PVDF syringe filter (pore size 0.45 μm) ลงในขวดในสารขนาด 2 mL และนำไปวิเคราะห์ปริมาณเออราซีนด้วยเครื่อง HPLC ต่อไป โดยระบบการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ การเก็บตัวอย่างน้ำ การสกัดด้วยตัวเทคนิค SPE โดยใช้โพลิเมอร์ลอกแบบเป็นตัวดูดซับ และการวิเคราะห์เออราซีนด้วยเทคนิค HPLC (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 วุบกระบวนกรองทางเดินระบายน้ำที่ขับกรองน้ำทางเดินระบายน้ำที่มีช่องทางเดินระบายน้ำที่บดบังและแยกตัว



รูปที่ 5 รูประบบวิเคราะห์เอตราซีนในน้ำโดยใช้โพลิเมอร์ลอกแบบ MIP ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC

4.1.8 การศึกษาสภาพที่เหมาะสมของการสกัดสารเอตราซีนด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (optimization of SPE conditions) โดยใช้โพลิเมอร์ MIP และ NIP

ศึกษาสภาพที่เหมาะสมของการสกัดด้วยเทคนิค SPE โดยใช้โพลิเมอร์ MIP และ NIP เป็นตัวดูดซับของแข็ง โดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ศึกษาและคงที่ปัจจัยอื่นๆ ทำการทดลองสภาพละ 3 ชั้น เลือกสภาพที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่า % recovery สูงสุด โดยปัจจัยที่ศึกษาต่างๆ มีดังนี้

1) ตัวทำลายที่เหมาะสมในการล้างสารรบกวน (washing solvent)

ศึกษาประสิทธิภาพของการสกัด (% recovery) โดยใช้ตัวทำลายอินทรีย์เพื่อใช้ในการล้างสารรบกวนและ non specific binding ซึ่งตัวทำลายที่ศึกษามี 3 ชนิดคือ dichloromethane, acetonitrile และ toluene โดยใช้ทำลายปริมาณ 1 mL โหลดผ่าน SPE คาร์ทริดจ์ ที่อัตราการไหล 3 mL/min โดยใช้ขั้นตอนการสกัดเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.7

2) ปริมาตรของตัวทำลายที่ใช้ในการล้างสารรบกวน (washing solvent volume)

ศึกษาประสิทธิภาพของการสกัด (% recovery) โดยใช้ตัวทำลายอินทรีย์เพื่อใช้ในการล้างสารรบกวนและ non specific binding ที่เหมาะสมจากข้อ 1) โดยใช้ปริมาตรของตัวทำลายที่แตกต่างกันดังนี้คือ 1, 3 และ 5 mL ตามลำดับ โหลดผ่าน SPE คาร์ทริดจ์ ที่อัตราการไหล 3 mL/min โดยใช้ขั้นตอนการสกัดเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.7

3) ปริมาตรของตัวทำลายที่ใช้ในการชำระสารเอตราซีนออกจากโพลิเมอร์ MIP หรือ NIP (eluting solvent volume)

ศึกษาประสิทธิภาพของการสกัด (% recovery) โดยใช้ เมทานอลเป็นตัวทำลายอินทรีย์เพื่อใช้ในขั้นตอนการชำระสารเอตราซีนออกจากโพลิเมอร์ MIP หรือ NIP โดยใช้ปริมาตรของตัวทำลายที่แตกต่างกันดังนี้คือ 8, 12, 16 และ 20 mL ตามลำดับ โหลดผ่าน SPE คาร์ทริดจ์ ที่อัตราการไหล 1 mL/min โดยใช้ขั้นตอนการสกัดเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.7

4.1.9 ศึกษาคุณสมบัติการจับกันของ MIP กับสารเอตราซีน (MIP binding)

ศึกษาการจับของเอตราซีนกับโพลิเมอร์ MIP เทียบกับ NIP โดยการโหลดน้ำ DI ที่เติม (spike) สารเอตราซีนที่ความเข้มข้น 0.1 µg/L ในน้ำ ปริมาตร 100 mL ผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ ที่สภาพที่เหมาะสมของการสกัดที่ศึกษามาแล้วข้างต้น หลังจากจะเอตราซีนออกมานแล้ว ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของเอตราซีนที่สกัดออกมายได้ด้วยเทคนิค HPLC และคำนวณหาประสิทธิภาพของการสกัดสารเอตราซีนในรูป % recovery ที่ได้จาก MIP และ NIP เปรียบเทียบกัน

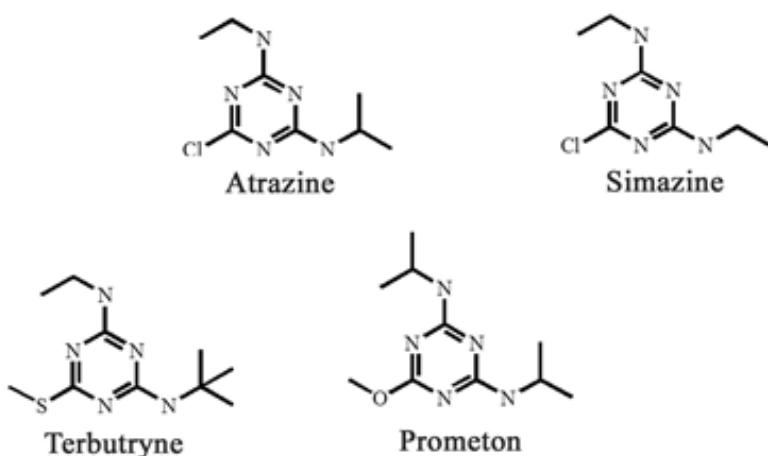
4.1.10 ศึกษาค่าความสามารถในการจับ (capacity) ของ MIP

ศึกษาค่าความสามารถในการจับของ MIP เพื่อให้ทราบว่า MIP ที่นำไปใช้งานนั้นสามารถจับกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้ปริมาณเท่าใด ทำการทดลองโดยการเพ็ค MIP และ NIP 20 mg ลงในกรอบอกฉีดขนาด 1 mL จากนั้นทำการสกัดด้วยเทคนิค SPE โดยการโหลดตัวอย่างน้ำ DI ที่ spike

เอทราซีนความเข้มข้น 5 mg/L อย่างต่อเนื่องผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ แล้วนำส่วนของน้ำที่ผ่าน คาร์ทริดจ์ออกมาวิเคราะห์จนกระทั่งตรวจพบสัมภูณ์ของเอทราซีน จากนั้นทำการบวนการ SPE ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.7 แล้วนำสารละลายที่ได้แต่ละขั้นตอนไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPE ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาปริมาณการจับเฉลี่ยต่อการรัมของเพลิเมอร์

4.1.11 ศึกษาความจำเพาะเจาะจงของ MIP

ในการทดสอบว่า MIP ที่เตรียมขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงกับสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือไม่ทำได้โดยการศึกษาการจับกันของสารที่สนใจเปรียบเทียบกับสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน ทำการทดลองโดยให้ลดน้ำ DI ที่เติม (spike) สารเอทราซีน (atrazine) และสารอื่นที่มีโครงสร้างคล้ายกับเอทราซีน ได้แก่ simazine, terbutryne และ prometon (รูปที่ 6) ที่ความเข้มข้น 0.1 µg/L ในน้ำ ปริมาตร 100 mL ผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ ที่สภาพที่เหมาะสมของการสกัดที่ศึกษามาแล้วข้างต้น หลังจากจะเอทราซีนออกมาระหว่าง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของเอทราซีนที่สกัดออกมายังเดิมโดยเทคนิค HPLC โดยใช้ความยาวคลื่น 221 nm สำหรับการวิเคราะห์สาร atrazine, simazine และ terbutryne และความยาวคลื่น 217 nm สำหรับสาร prometon โดยจะพิจารณาความจำเพาะเจาะจง ซึ่งได้จากการพิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณการจับสารที่สนใจ (% recovery) ของ MIP เทียบกับ NIP ซึ่งค่า % recovery ที่ได้จากการที่สนใจควรสูงกว่าสารอื่นที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน (Muldoon and Stanker, 1997)



รูปที่ 6 โครงสร้างของสาร atrazine, simazine, terbutryne และ prometon

4.1.12 ศึกษาผลของตัวรบกวน (Matrix interference)

ในตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม เช่นน้ำ มักมีองค์ประกอบอื่น ๆ ปนอยู่ในตัวอย่างซึ่งรบกวนการวิเคราะห์และส่งผลให้ประสิทธิภาพการสกัดลดลงได้ (Eurachem, 1998) นอกจากนี้ตัวรบกวนอาจส่งผลกระทบต่อความชันของกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ที่นิยมใช้ในการหาปริมาณของสารที่วิเคราะห์ ทำให้ความชันนี้แตกต่างจากความชันที่ได้จากราฟของตัวอย่างที่มีการเติมสารมาตรฐานลงไป (matrix match calibration curve) ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของตัวรบกวน โดยการplot ของ calibration curve เทียบกับ matrix match calibration curve ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

แล้วดูความชันว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทดสอบด้วยสถิติ 2-way ANOVA โดย R-software

ตารางที่ 1 แสดงความเข้มข้นที่ศึกษาเพื่อทำการพล็อตกราฟของ calibration curve เทียบกับ matrix match calibration curve ในตัวอย่างน้ำ 4 ตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำ	ความเข้มข้นที่ศึกษา (mg/L)	
	calibration curve	matrix match calibration curve
Sample # 1	0.05 - 0.80	0.05 - 0.80
Sample # 2	0.5 – 2.0	0.5 – 2.0
Sample # 3	0.03 - 0.20	0.03 - 0.20
Sample # 4	0.05 – 0.15	0.05 – 0.15

4.1.13 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี (Method validation)

การทดสอบการใช้ได้ของวิธีทำเพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ใช้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้อง แม่นยำ และนำเข้าสู่เพียงพอต่อการนำไปใช้ โดยศึกษาปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ช่วงความเป็นเส้นตรง ขิดจำกดการของการตรวจวัด ซึ่งทำโดยการ spike สารมาตรฐานลงไปในตัวอย่างที่ศึกษา และนำตัวอย่างไปผ่านขั้นตอนการสกัดก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเครื่องลิคิวิดโคโรมาโทกราฟต่อไปโดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ เช่น

1) ขิดจำกดการตรวจวัดของวิธี (Method detection limit, MDL)

MDL คือความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่างที่สามารถตรวจได้โดยไม่จำเป็นต้องทราบปริมาณ ทำการทดลองโดยการ spike สารมาตรฐานเอทราเซ็นลงไปในตัวอย่างน้ำ DI ปริมาตร 100 mL 20-100 µg/L จากนั้นโหลดผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ และทำการสกัดดังวิธีในข้อ 4.1.7 แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างสัญญาณตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่มีค่าต่ำที่สุดแต่ต้องมากกว่าหรือเท่ากับสาม ($S/N \geq 3$) (Green, 1996)

2) ขิดจำกดของการหาปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ)

LOQ เป็นระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารในตัวอย่างได้ โดยมีความถูกต้องและแม่นยำอยู่ ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทำการทดลองโดยการ spike สารมาตรฐานเอทราเซ็นลงไปในตัวอย่างน้ำ DI ปริมาตร 100 mL 20-100 µg/L จากนั้นโหลดผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ และทำการสกัดดังวิธีในข้อ 4.1.7 แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างสัญญาณตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่มีค่าต่ำที่สุดแต่ต้องมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) (Green, 1996)

3) ร้อยละการได้กลับคืน (% recovery)

โดยศึกษาในตัวอย่างเบลงค์ในที่นี้ใช้น้ำ DI ที่มีการเติมสารมาตรฐานที่รู้ค่าแน่นอนลงไป แล้วนำสัญญาณตอบสนองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณตอบสนองของสารมาตรฐาน ร้อยละการได้กลับคืนควรอยู่ในช่วง 80-130 (EPA, 2003) ทำการทดลองโดยการสกัดเอทราเซ็นด้วยเทคนิค SPE โดยการโหลดตัวอย่างน้ำ DI ที่ spike เอทราเซ็นความเข้มข้น 0.1 mg/L และ 0.05 mg/L ในน้ำ ปริมาตร 100 mL ผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ ที่สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดที่ศึกษามาแล้วข้างต้น (หัวข้อ 4.1.7) หลังจากจะเอทราเซ็นออกมานแล้ว ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของเอทราเซ็นที่สกัดออกมายield ด้วยเทคนิค HPLC และคำนวณหา % recovery จากสูตรดังนี้ (Eurachem, 1998)

$$\% \text{ Recovery} = [(CF-CU)/CA] \times 100$$

เมื่อ CF คือความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ที่ตรวจด้วยตัวอย่างที่มีการเติมสารมาตรฐาน (spike)

CU คือความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ที่ตรวจด้วยตัวอย่างที่ไม่มีการเติมสารมาตรฐาน หรือเบลังค์ (spike)

CA คือความเข้มข้นของสารที่สารมาตรฐาน (สารที่ต้องการวิเคราะห์) ที่เติมลงไปในตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

4) ความแม่นยำ (precision)

คือการวัดดีกรีของความสามารถในการทำซ้ำของวิธีวิเคราะห์ภายใต้สภาวะปกติ ซึ่งปกตินั้นจะรายงานเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; %RSD) (Swartz and Krull, 1997) ที่ได้จากการศึกษาการได้กลับคืน (recovery) จากข้อ 4.1.12 (3) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของเอตราเซ็นในน้ำ DI ปริมาตร 100 mL ความเข้มข้น 0.1 mg/L และ 0.05 mg/L ตามลำดับ จำนวน 5 ชั้า โดย %RSD สูงสุดที่ยอมรับได้ค่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 (%RSD ≤ 20, EPA, 2003)

4.1.14 ประยุกต์ใช้โพลิเมอร์ลอกแบบที่เตรียมขึ้นสำหรับการวิเคราะห์สารเอตราเซ็นปริมาณน้อยทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณในตัวอย่างน้ำ

ทำการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของสารเอตราเซ็นน้ำตัวอย่างจริงโดยใช้โพลิเมอร์ MIP ที่เตรียมขึ้นร่วมกับการการสกัดด้วยเทคนิค SPE และตรวจสารเอตราเซ็นด้วยเทคนิค HPLC ที่สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องมือและการเตรียมตัวอย่างศึกษานาแลเรข้างต้นโดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมาจากพื้นที่การเกษตรในจังหวัดนครศรีธรรมราชจำนวน 4 ตัวอย่าง (รายละเอียดในหัวข้อ 4.2)

4.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์หาปริมาณการตกค้างของ เอตราเซ็นในแหล่งน้ำ ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่เกษตรกรรมในจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 4 ตัวอย่างคือ

- 1) ตัวอย่างที่ 1 แหล่งน้ำใกล้พื้นที่ปลูกแตงโมในมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ (บริเวณอาคารวิชาการ) อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช (sample site #1)
- 2) ตัวอย่างที่ 2 แหล่งน้ำใกล้พื้นที่ปลูกแตงโมในมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ (บริเวณอุทยานพุกศาสตร์) อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช (sample site #2)
- 3) ตัวอย่างที่ 3 แหล่งน้ำใกล้พื้นที่ปลูกแตงโมในมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ (บริเวณอาคารนวัตกรรม) อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช (sample site #3)
- 4) ตัวอย่างที่ 4 แหล่งน้ำใกล้พื้นที่ปลูกพืชแบบปริเนาสวนผสมใน อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช (sample site #4)

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดโพลีเอทิลีน แล้วนำมารองผ่านกราฟฟิกรองตามลำดับดังนี้ กระดาษกรองเบอร์ 1 (11 cm, 11 µm pore size, Whatman) ตามด้วยเบอร์ 42 (11 cm, 2.5 µm pore size, Whatman) และ กระดาษกรอง Glass Fiber Filters (GF/B: 11 cm, 1 µm pore size, Whatman) เพื่อกำจัดตะกอนขนาดต่าง ๆ ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำ ก่อนนำไปสู่ขั้นตอนการสกัดด้วย โพลิเมอร์ MIP ที่สังเคราะห์ขึ้นมา โดยจะเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเหล่านี้ไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 7 แสดงภาพแหล่งน้ำในพื้นที่เกษตรกรรม ทั้ง 4 แหล่ง ใน จ. นครศรีธรรมราช

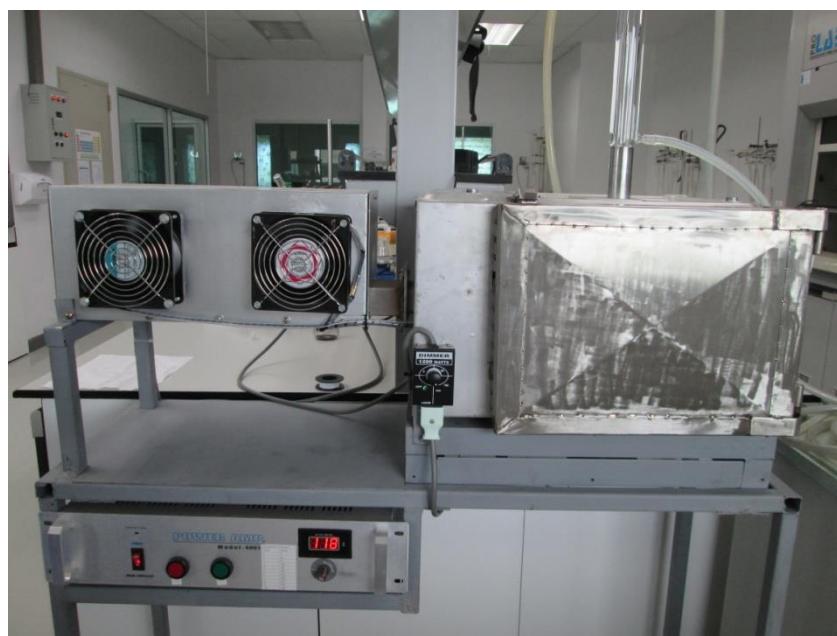
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

- 1) เครื่องลิดวิดิโครามาโทกราฟีสมรรถนะสูง (HPLC) ยี่ห้อ Waters ประเทศอเมริกา ประกอบด้วย
 - เครื่อง HPLC (Waters 2695)
 - บีมแรงดันสูง (Waters 2695)
 - ตัวตรวจจับชนิด photodiode array (Waters 2696)
- 2) คอลัมน์สำหรับการวิเคราะห์คือ Ascentis C18 column ความยาว 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.6 มิลลิเมตร และมีขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร
- 3) เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic bath) สำหรับใช้ในการกำจัดฟองอากาศ (degas) ในขั้นตอนการเตรียมเฟส mobile phase
- 4) ชุดกรอง mobile phase และกรองน้ำตัวอย่างประกอบด้วย
 - Glass funnel ขนาด 300 มิลลิลิตร
 - Glass fritted base support ขนาด 47 มิลลิเมตร

- Flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- Clamp
- ปั๊มสูญญากาศ
- 5) Rotary evaporator (Eyela, USA)
- 6) เครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง โดย ผศ.ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์



รูปที่ 8 แสดงภาพเครื่องลิตวิดโครมาโทกราฟิสมรรถนะสูง (HPLC) ที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 9 แสดงภาพเครื่องไมโครเวฟที่ใช้ในการสังเคราะห์โพลีเมอร์ MIP และ NIP

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- รายงานเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของ peak area และ retention time ที่ได้จาก การศึกษาอย่างน้อย 3 ชุด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

- คำนวณ 2-way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบชุดข้อมูล โดยใช้โปรแกรม R (R Development Core Team, 2006)

5. ผลการวิจัย (Outputs)

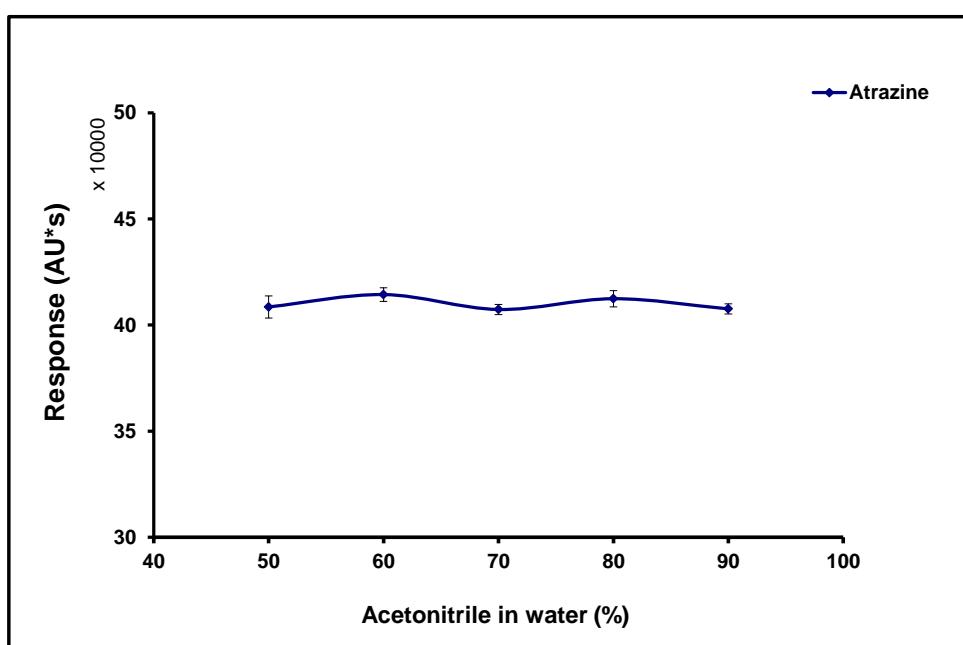
5.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารเอทราซีน ด้วยเทคนิค HPLC ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่

5.2.1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสม

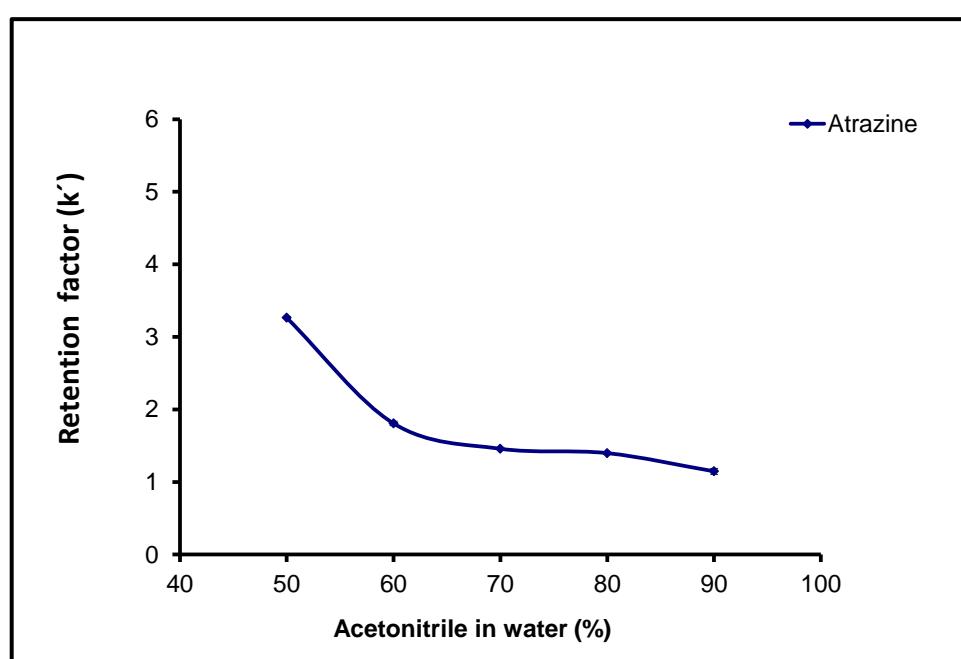
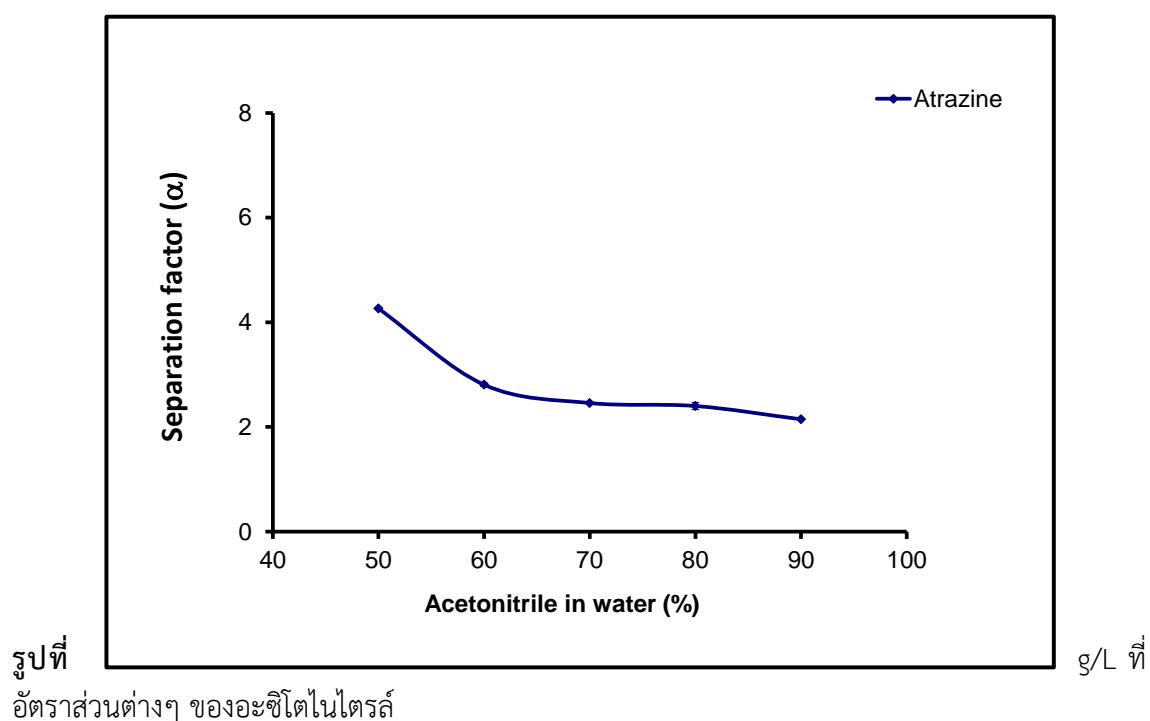
จากการสแกนความยาวคลื่นของสารมาตรฐานเอทราซีน (ความเข้มข้น 1 mg/L) ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 400 นาโนเมตร พบร่วมความยาวคลื่นที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารเอทราซีนคือความยาวคลื่น 221 นาโนเมตร เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด

5.1.2 อัตราส่วนของ mobile phase

mobile phase ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารเอทราซีนใช้ตัวทำละลายผสม 2 ชนิด คืออะซิโตไนโตรล (acetonitrile) กับน้ำ โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนของ acetonitrile ในน้ำ เป็น 50, 60, 70, 80 และ 90% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์ของ acetonitrile ในน้ำที่เหมาะสมคือ 60% เนื่องจาก 1) ให้ค่าสัญญาณการตอบสนองสูงสุดโดยดูจากค่า peak area สารเอทราซีน แม้ว่าที่ 80% (รูปที่ 10) 2) มีประสิทธิภาพการแยกที่ดี โดยดูจากค่า separation factor; α (รูปที่ 11) ซึ่งบอกถึงความสามารถในการแยกของสารผสมออกจากกัน เป็นค่าที่บ่งบอก ค่านี้สามารถหาได้จากการคำนวณ ซึ่งค่าที่ยอมรับได้ค่ามากกว่า 1 (Ardrey, 2003) ซึ่งจะทำให้สารแยกออกจากกันอย่างชัดเจน หากมีค่า น้อยกว่า 1 พิกที่ได้อาจมีการซ้อนทับกัน นอกเหนือนี้ยังพิจารณาจาก 3) ค่า retention factor; k' (รูปที่ 12) ความสามารถในการหน่วย (retain) สารที่จะวิเคราะห์ไว้ในคอลัมน์ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่า k' เท่านั้น ตามที่ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ (t_R) และที่ไม่ถูกหน่วงอยู่ในคอลัมน์ (ไม่เกิดอันตรกิริยา กับเฟสอยู่กับที่) สามารถหาได้จากการคำนวณ โดยค่าที่ยอมรับได้ควรอยู่ในช่วงค่ามากกว่า 1 (Snyder and Kirkland, 1979) และใช้เวลาวิเคราะห์สั้นที่สุด (ดูจากค่า retention time) ซึ่งเมื่อรวมทั้งสามปัจจัย ด้วยกันทำให้อัตราส่วนของ acetonitrile ในน้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ 60%



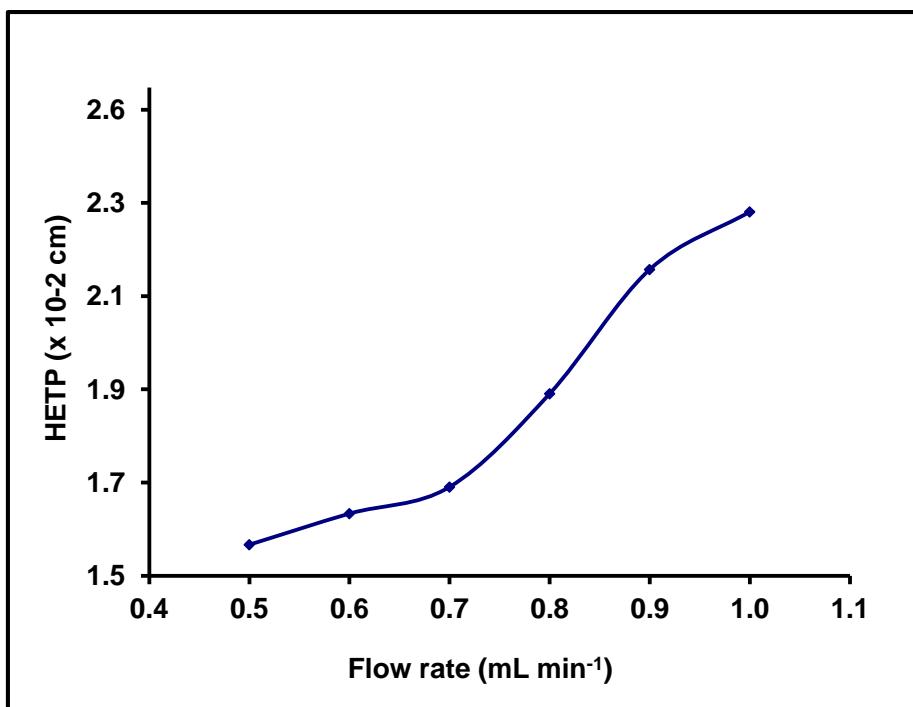
รูปที่ 10 ค่าสัญญาณการตอบสนองของสารละลายน้ำตราชีน ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ที่อัตราส่วนต่างๆ ของอะซิโนไตรล์



รูปที่ 12 ค่า retention factor จากสารละลายน้ำตราชีน เอทรานีน ที่ความเข้มข้น 1 mg/L ที่อัตราส่วนต่างๆ ของอะซิโตไนโตรอล

5.1.3 อัตราการไหลของ mobile phase

จากการศึกษาอัตราการไหลที่เหมาะสมของ mobile phase ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ดังนี้คือ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 mL/min โดยพิจารณาเลือกอัตราการไหลของ mobile phase ที่เหมาะสมจากการใช้ข้อมูลต่าง ๆ จากพีคของสารเอทรานีน เช่น retention time, peak area แล้วนำมาใช้ในการทำแนวเดเมอร์เพล็อต (van Deemter plot) ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างค่าความสูงของเพลตทางทฤษฎี (Height Equivalent to a Theoretical Plate, HETP) กับอัตราการไหล โดยพิจารณาเลือกอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมจากอัตราการไหลที่ให้ค่าความสูงของเพลตทางทฤษฎีต่ำสุด ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการแยกสูงที่สุด (Hamilton and Swell, 1982) พบว่าที่อัตราการไหลของ mobile phase ที่เหมาะสมที่สุดคือที่อัตราการไหล 0.6 mL/min (รูปที่ 13) เนื่องจากมีค่า HETP ต่ำ และใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นกว่า (retention time = 5.53 นาที) ที่อัตราการไหล 0.5 mL/min (retention time = 6.62 นาที)



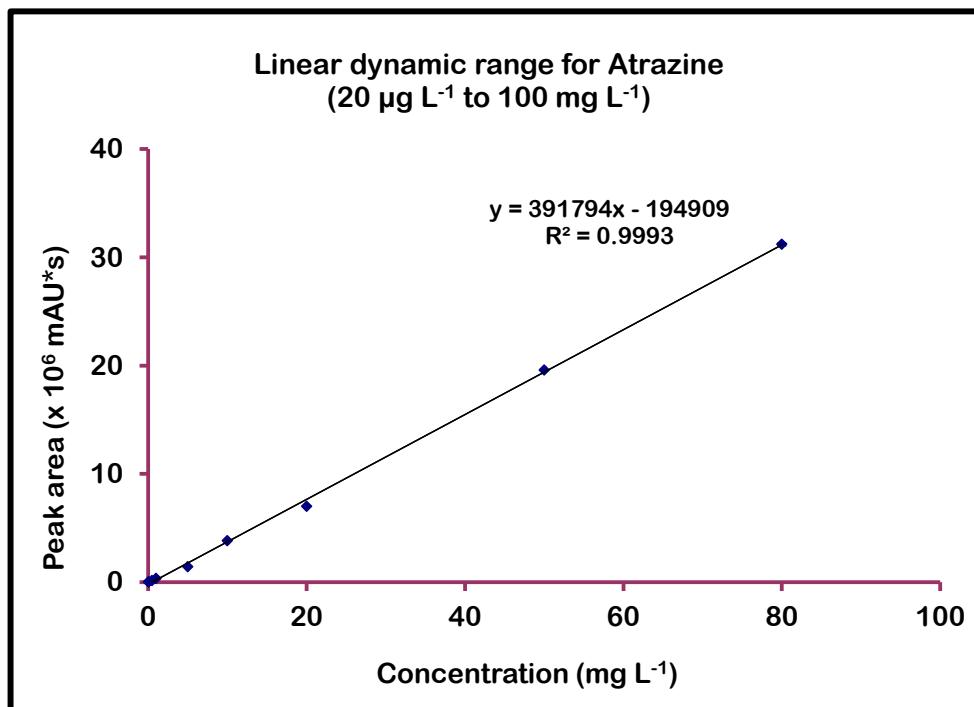
5.2 สมรรถนะของระบบ (system performance) HPLC

5.2.1 ความแม่นยำในการตรวจวัด (precision)

จากศึกษาโดยฉีดสารละลายน้ำมาระดับ HPLC ความเข้มข้น 1 mg/L ปริมาตร 20 μL เข้าสู่ระบบ HPLC ที่สภาวะที่เหมาะสมของ HPLC ทำซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าความแปร่ จำกค่าร้อยละของ relative standard deviation (%RSD) ของพื้นที่พีกและ retention time ของสารเอทราซีน พบร่วมกันการตรวจสารเอทราซีนมีความแม่นยำสูงมากโดยมี $\text{RSD} \leq 1\%$ สำหรับ peak area และค่า $\text{RSD} \leq 0.1\%$ สำหรับค่า retention time ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่านี้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้มาก ($\text{RSD} \leq 4\%$ สำหรับ peak area และค่า $\text{RSD} \leq 1\%$ สำหรับค่า retention time (Snyder et al., 1997)

5.2.2 ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear dynamic range; LDR)

ช่วงความเป็นเส้นตรง เป็นความสามารถของวิธีวิเคราะห์ที่ตอบสนองต่อความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นสัดส่วนโดยตรงกันในช่วงช่วงหนึ่ง จากผลการทดลอง ที่ศึกษาโดยการฉีดสารละลายน้ำมาระดับ HPLC และผลลัพธ์กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นกับค่า peak area ของเอทราซีนกับความความเข้มข้น ดังรูปที่ 14 พบร่วมกันได้ช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารเอทราซีนในช่วง 20 $\mu\text{g/L}$ ถึง 100 mg/L ค่าความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient; R^2) มากกว่า 0.99

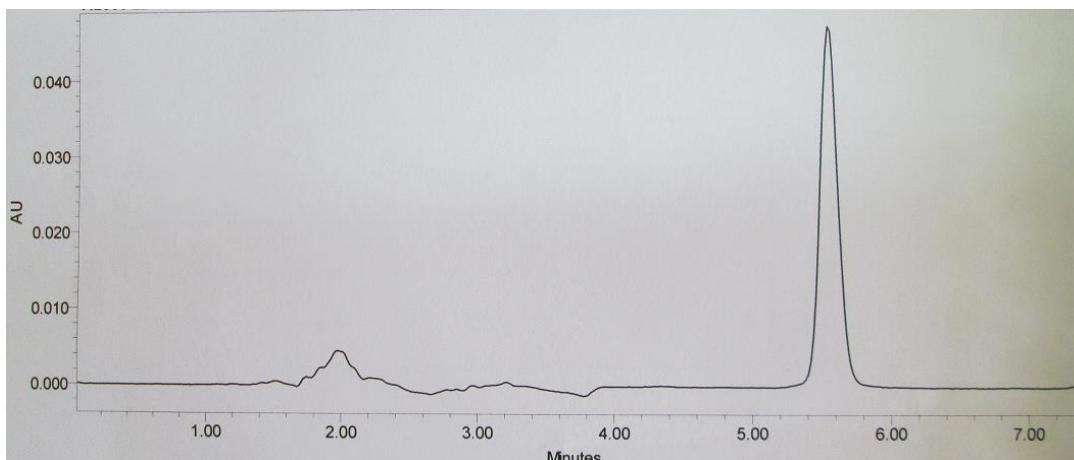


5.2.3 ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

จากการศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัดของการวิเคราะห์สารเอทราซีน โดยการฉีดสารละลายน้ำมาระดับ HPLC ที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ เข้าสู่ระบบ HPLC พบร่วมกันได้ขีดจำกัดของการตรวจวัดสารนี้อยู่ที่ความเข้มข้น 10 $\mu\text{g/L}$ โดยมีอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio; S/N) ≥ 3 (Green, 1996)

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารเอทราซีนด้วยเทคนิค HPLC ได้โครงโนทแกรมของเอทราซีนดังแสดงในรูปที่ 15

เอทราซีน



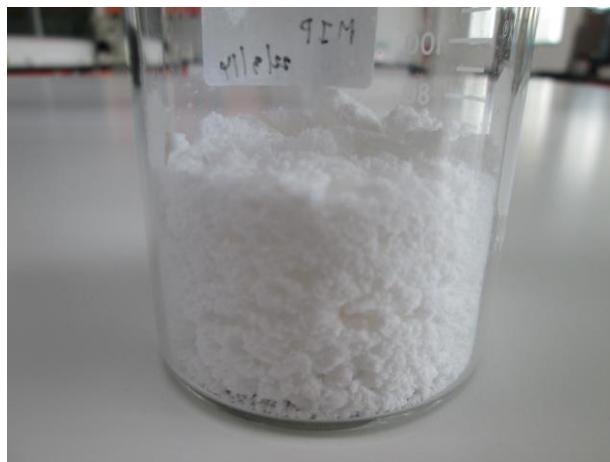
รูปที่ 15 โนทแกรมของเอทราซีน แสดงให้เห็นว่ามีการแยกตัวของสารเอทราซีนเป็นสองชุดหลักๆ ที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

5.3 การเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับสารเอทราซีนโดยใช้การให้ความร้อนในการกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน ด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ

ในการเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบในงานวิจัยนี้ อาศัยความร้อนจากไมโครเวฟในการ Initiate polymerization โดยกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจาก การจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างเอทราซีนซึ่งใช้เป็นโมเลกุลต้นแบบกับสารโมโนเมอร์ (metacrylic acid) จากนั้นตามด้วยการเติมสารเชื่อมโยง พันธะ (ethylene glycol dimethacrylate) และสารริเริ่มปฏิกิริยา (azobis-isobutyronitrile: AIBN) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้ไมโครเวฟเพื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ทำให้สารริเริ่มปฏิกิริยาแตกตัวเป็นฟรีเอดิเคิล แล้วเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันได้โพลิเมอร์ลอกแบบที่มีรอยจุดจำกัดทั้งขนาด รูปร่างและหมู่ฟังก์ชันกับโมเลกุลต้นแบบ โดยการใช้ไมโครเวฟให้ความร้อนจะช่วยใช้การpolิเมอร์ไรเซชันเกิดได้ทั่วถึง และรวดเร็วขึ้นกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมซึ่งใช้อ่างน้ำร้อน โดยได้ทำการสังเคราะห์โพลิเมอร์ 2 แบบดังนี้

1) เตรียมโพลิเมอร์แบบ precipitation polymerization

ได้โพลิเมอร์ MIP โดยใช้เอทราซีนเป็นโมเลกุลต้นแบบ และโพลิเมอร์ NIP ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ควบคุม จากการสังเคราะห์โดยการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ มีลักษณะเป็นผงสีขาวดังรูปที่ 16 เมื่อนำโพลิเมอร์นี้ทำการกำจัดโมเลกุลต้นแบบออกไป แล้วทดสอบประสิทธิภาพการจับกับเอทราซีนหรือการใช้โพลิเมอร์เป็นตัวคุณภาพของแข็งในการสกัดสารเอทราซีนในน้ำที่เติมสารเอทราซีนลงไป ผลการทดลองพบว่า โพลิเมอร์ MIP สามารถจับกับเอทราซีน ได้ % recovery สูงกว่า 80% แต่อย่างไรก็ตามพบว่า NIP ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ควบคุมก็สามารถจับกับเอทราซีนได้ % recovery สูงกว่า 70% จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า โพลิเมอร์ MIP ที่เตรียมขึ้นไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารเอทราซีน นอกจากนี้ยังพบปัญหาสารตัวอย่างไฟล่อน SPE ควรทريدจ์ได้ช้ามาก อาจเนื่องมาจากอนุภาคของโพลิเมอร์ จากการสังเคราะห์โดยวิธีนี้มีขนาดเล็กมาก ซึ่งส่งผลให้การสกัดและการวิเคราะห์ใช้เวลานานไปด้วย ดังนั้นจึงทำการเตรียมโพลิเมอร์โดยวิธีใหม่คือวิธีที่ 2 คือแบบ bulk polymerization



รูปที่ 16 แสดงโพลิเมอร์ MIP ที่ได้จากการสังเคราะห์แบบ precipitation polymerization

2) เตรียมโพลิเมอร์แบบ bulk polymerization

จากการทดลองได้โพลิเมอร์ MIP โดยใช้อุตสาหกรรมเป็นโมเลกุลตันแบบ และโพลิเมอร์ NIP ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ควบคุม จากการสังเคราะห์โดยการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรชันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ มีลักษณะเป็นก้อนของแข็งสีขาว (รูปที่ 17) จากนั้นนำมารดดวยกรองจนได้ผงสีขาว จากนั้นแพ็คโพลิเมอร์นี้ลงในระบบอุณหภูมิแล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพการสกัดสารเอทราซีนในน้ำ จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ได้โพลิเมอร์ MIP โดยใช้อุตสาหกรรมเป็นโมเลกุลตันแบบ และโพลิเมอร์ NIP ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ควบคุม จากการสังเคราะห์โดยการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์เรชันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ จากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ โดยในงานวิจัยนี้พบว่าใช้เวลาในการเตรียมโพลิเมอร์เพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งน้อยกว่าการเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับเอทราซีนที่เตรียมโดยวิธีทั่วไปคือการให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนซึ่งต้องใช้เวลานานถึง 20 ชั่วโมง (Kueseng et al., 2009) ทำให้การเตรียมโดยใช้ไมโครเวฟมีข้อดีคือเวลาลดลง 10 เท่า ส่งผลให้เวลาในการวิเคราะห์สารเอทราซีนในตัวอย่างลดลงตามไปด้วย

โพลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นผงสีขาวดังรูปที่ 17 มีขนาดอนุภาค 36-106 μm เมื่อนำโพลิเมอร์ MIP และ NIP น้ำทำการกำจัดโมเลกุลตันแบบออกไประเพื่อให้เกิดมีรอยจุดจำในโพลิเมอร์ในการจำกัดกับสารเอทราซีนในตัวอย่าง จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับเอทราซีนหรือการใช้โพลิเมอร์เป็นตัวดูดซับของแข็งในการสกัดสารเอทราซีนในน้ำ DI ที่เติมสารเอทราซีนลงไปผลการทดลองพบว่า โพลิเมอร์ MIP สามารถจับกับเอทราซีนได้มากกว่า NIP ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ควบคุมซึ่งไม่มีรอยจุดจำของสารเอทราซีน จึงโพลิเมอร์ที่เตรียมแบบ bulk polymerization ไปใช้งานเป็นตัวดูดซับของแข็งในการวิเคราะห์เอทราซีนในน้ำต่อไป

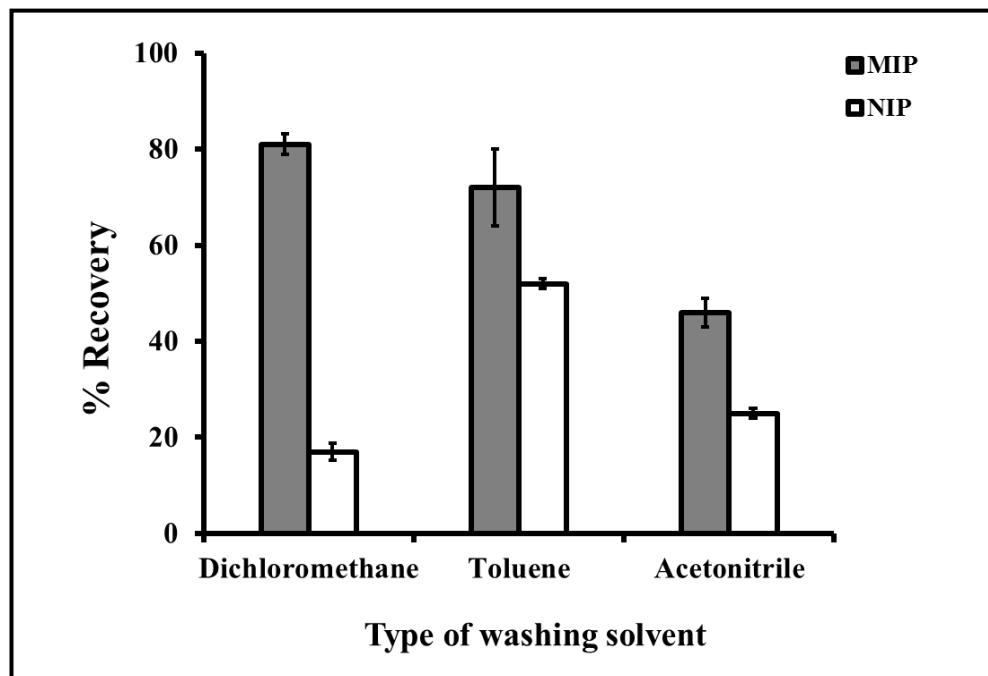


รูปที่ 17 แสดงโพลิเมอร์ MIP ที่ได้จากการสังเคราะห์แสดงโพลิเมอร์ MIP ที่ได้จากการสังเคราะห์แบบ bulk polymerization

5.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเทคนิค Solid phase extraction (SPE)

1) ตัวทำลายที่เหมาะสมในการล้างสารรบกวน (washing solvent)

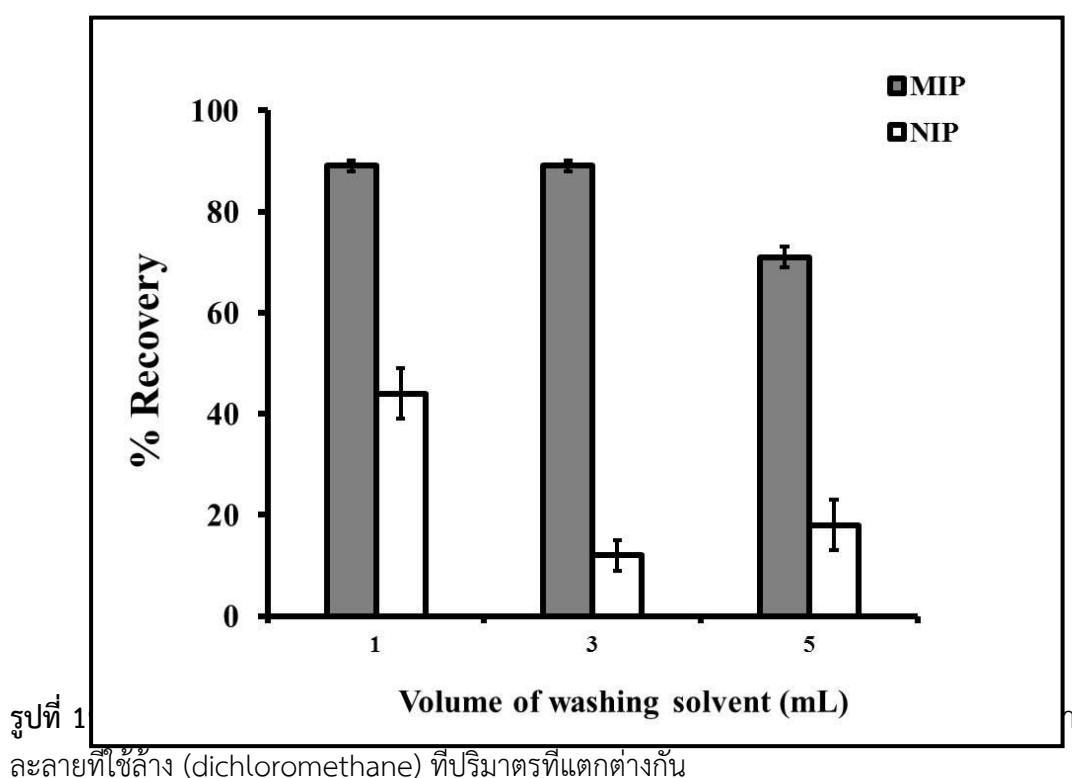
ศึกษาประสิทธิภาพของการสกัด (% recovery) โดยใช้ตัวทำลายอินทรีย์เพื่อใช้ในการล้างสารรบกวนและ non specific binding จากโพลิเมอร์ MIP และ NIP ซึ่งตัวทำลายที่ใช้ในการล้างที่เหมาะสมควรล้างสารรบกวนและ non specific binding ออกจาก NIP มากกว่า MIP (Pichon and Chapuis-Hugon, 2008) เพราะ MIP ควรสามารถจับกับเออราเซ็นอย่างเฉพาะเจาะจงเนื่องจากมีรอยจดจำที่เฉพาะเจาะจงต่อโครงสร้างของสารเออราเซ็น โดยเออราเซ็นที่จับกับ MIP ควรสูญเสียออกมากน้อยที่สุด ซึ่งตัวทำลายที่ใช้ล้างที่ศึกษามี 3 ชนิดได้แก่ dichloromethane, toluene และ acetonitrile และ โดยใช้ตัวทำลายปริมาตร 1 mL โหลดผ่าน SPE кар์ทริดจ์ ที่อัตราการไหล 3 mL/min โดยใช้ขั้นตอนการสกัดหลังจากโหลดตัวอย่างน้ำผ่านคาร์ทริดจ์ด้วยวิธีการทดลองที่กว่ารวมแล้ว ในข้อ 4.1.7 ผลการทดลองพบว่า dichloromethane เป็นตัวล้างที่เหมาะสมที่สุด เพราะให้ผล % recovery สูงสุดสำหรับ MIP แต่ให้ % recovery น้อย สำหรับ NIP โดยค่า % recovery ของเออราเซ็นเมื่อใช้ dichloromethane เป็นตัวล้างมีค่า 81 ± 2 and $17 \pm 2\%$ สำหรับ MIP และ NIP ตามลำดับ (รูปที่ 18) ในขณะที่ตัวล้างอื่นคือ toluene และ acetonitrile ไม่เหมาะสมเนื่องจากให้ % recovery ต่ำกว่าสำหรับสารเออราเซ็นเมื่อใช้ MIP ในการสกัด และยังให้ % recovery สูงเมื่อใช้ NIP ในการสกัด ดังนั้นจึงเลือก dichloromethane เป็นตัวล้างที่เหมาะสม และใช้ตัวล้างนี้ในขั้นตอนการสกัดต่อไป



รูปที่ 18 % recovery ของเอตราซีนที่ได้จากการสกัดโดยใช้โพลิเมอร์ MIP และ NIP โดยใช้ตัวทำละลายที่ใช้ล้างที่แตกต่างกัน

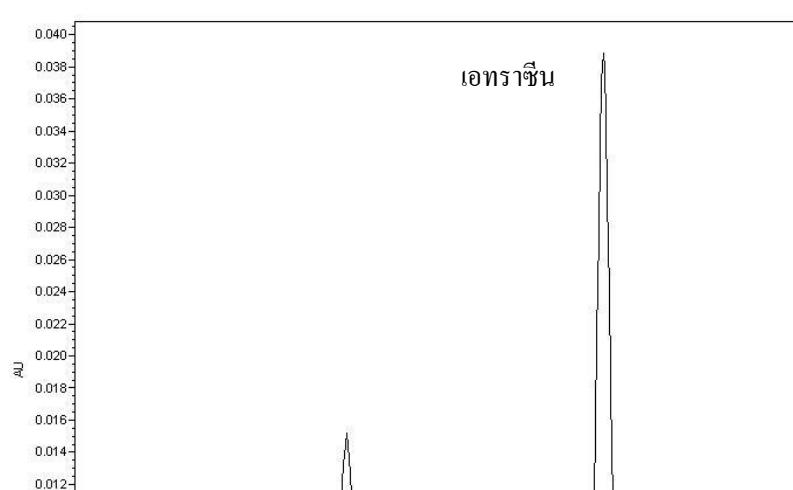
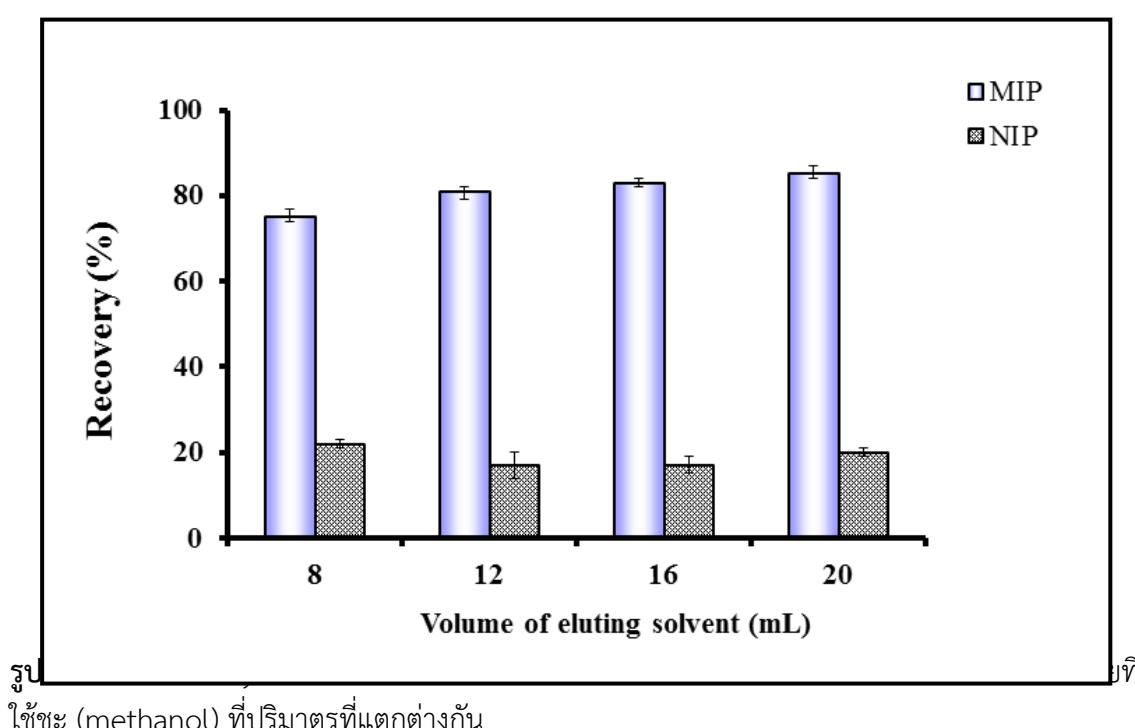
2) ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการล้างสารรบกวน (washing solvent volume)

ศึกษาประสิทธิภาพของการสกัด (% recovery) โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อใช้ในการล้างสารรบกวนและ non specific binding ที่เหมาะสมคือ dichloromethane โดยศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของตัวทำละลายที่แตกต่างกันดังนี้คือ 1, 3 และ 5 mL ตามลำดับ โหลดผ่าน SPE คาร์ทริดจ์ที่อัตราการไหล 3 mL/min โดยใช้ขั้นตอนการสกัดเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.7 ผลการทดลองพบว่าปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการล้างสารรบกวนที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 mL (รูปที่ 19) เนื่องจากที่ปริมาณนี้ให้ผล % recovery สูงสุดสำหรับ MIP แต่ให้ % recovery น้อย สำหรับ NIP จึงเหมาะสมแก่การสกัดสารเอตราซีนให้ได้ประสิทธิภาพในการสกัดที่ดี เพราะสามารถล้างสารรบกวนออกไปได้มากในขณะที่สามารถล้างเอตราซีนที่จับอยู่กับ MIP ออกໄไปได้น้อย



3) ปริมาตรของตัวทำลายที่ใช้ในการชำระสารเอตราซีนออกจากโพลิเมอร์ MIP หรือ NIP (eluting solvent volume)

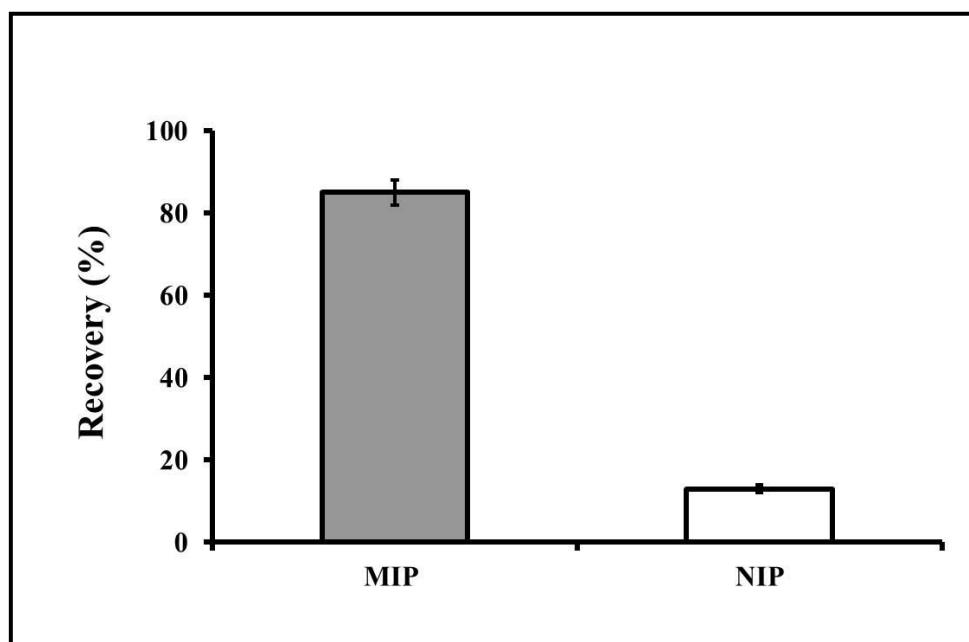
ศึกษาประสิทธิภาพของการสกัด (% recovery) โดยใช้ เมทานอลเป็นตัวทำลายอินทรีย์เพื่อใช้ในขั้นตอนการชำระสารเอตราซีนออกจากโพลิเมอร์ MIP หรือ NIP โดยใช้ปริมาตรของตัวทำลายที่แตกต่างกันดังนี้คือ 8, 12, 16 และ 20 mL ตามลำดับ โหลดผ่าน SPE คาร์ทริดจ์ ที่อัตราการไหล 1 mL/min โดยใช้ขั้นตอนการสกัดเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.7 ผลการทดลองพบว่าปริมาตรของตัวทำลายที่ใช้ในการชำระสารเอตราซีนออกมาน้ำที่เหมาะสมคือปริมาตร 12 mL เนื่องจากที่ปริมาตรนี้ให้ผล % recovery สูงสุดสำหรับ MIP ส่วนปริมาตร 8 mL ไม่เหมาะสมเนื่องจากยังชำระเอตราซีนออกไม่หมด จึงให้ % recovery ที่น้อยกว่า และปริมาตร 16 และ 20 ให้ % recovery สูงเทียบเท่ากับปริมาตร 12 mL และใช้ตัวทำลายมากกว่า ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองและส่งผลให้เกิดของเสียจากการเคมีมากขึ้น จึงเลือกใช้ปริมาตรเมทานอล 12 mL (รูปที่ 20) เป็นปริมาตรที่เหมาะสมต่อไป โครงมาตรฐานของสารเอตราซีนที่สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยเทคนิค SPE แสดงดังรูปที่ 21



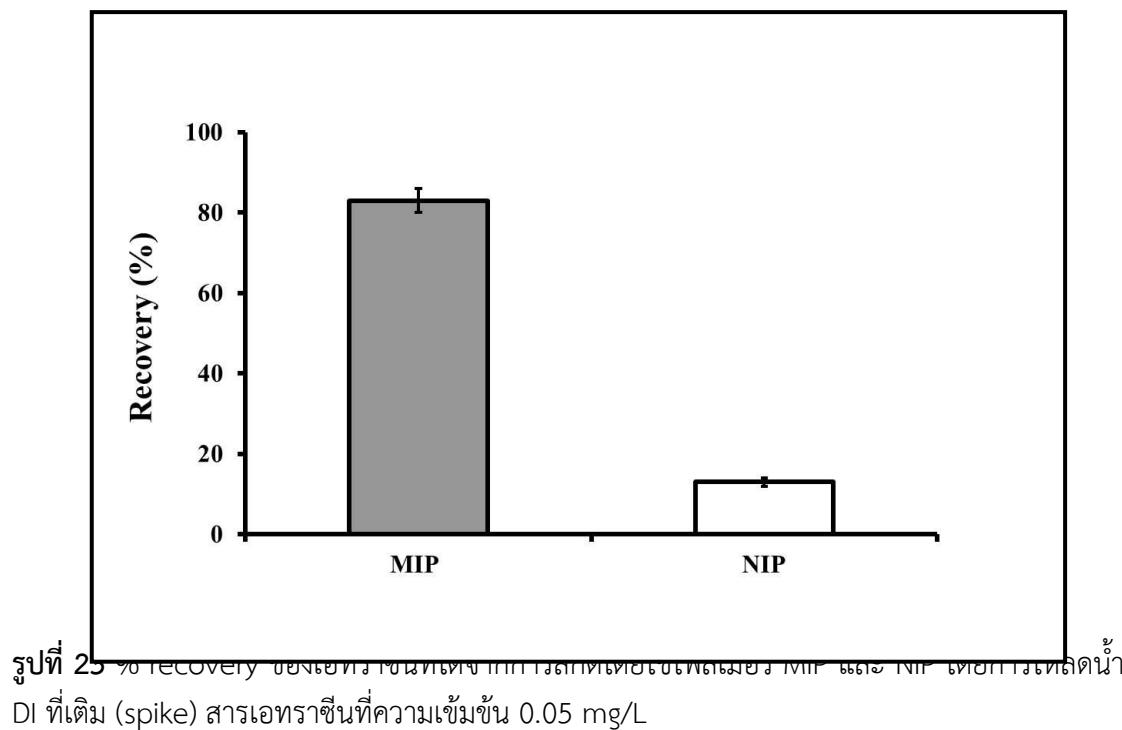
รูปที่ 21 แสดงโครงมาโทแกรมของสารเอตราซีนที่สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดด้วยเทคนิค SPE

5.5 ศึกษาคุณสมบัติการจับกันของ MIP กับสารเอตราซีน (MIP binding)

ศึกษาการจับของเอตราซีนกับโพลิเมอร์ MIP เทียบกับ NIP โดยการโหลดน้ำ DI ที่เติม (spike) สารเอตราซีนที่ความเข้มข้น 0.1 mg/L และ 0.05 mg/L ในน้ำ ปริมาตร 100 mL ผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ หลังจากจะเอตราซีนออกมาระหว่างห้อง HPLC และคำนวณหาประสิทธิภาพของการสกัดสารเอตราซีนในรูป % recovery ที่ได้จาก MIP และ NIP เปรียบเทียบกัน โดยค่า % recovery ของเอตราซีนเมื่อสกัดด้วยโพลิเมอร์ MIP และ NIP ที่ความเข้มข้น 0.1 mg/L มีค่า 89 ± 3 และ $12 \pm 1\%$ สำหรับ MIP และ NIP ตามลำดับ (รูปที่ 22) และที่ความเข้มข้น 0.05 mg/L มีค่า 83 ± 3 and $13 \pm 1\%$ สำหรับ MIP และ NIP ตามลำดับ (รูปที่ 23) ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานในการวิเคราะห์เอตราซีนในน้ำโดยวิธีของ EPA ที่มีร้อยละการได้กลับคืนควรอยู่ในช่วง $80-130$ (EPA, 2003)



รูปที่ 22 % recovery ของเอตราซีนที่ได้จากการสกัดโดยใช้โพลิเมอร์ MIP และ NIP โดยการโหลดน้ำ DI ที่เติม (spike) สารเอตราซีนที่ความเข้มข้น 0.1 mg/L



5.6 ศึกษาค่าความสามารถในการจับ (capacity) ของ MIP

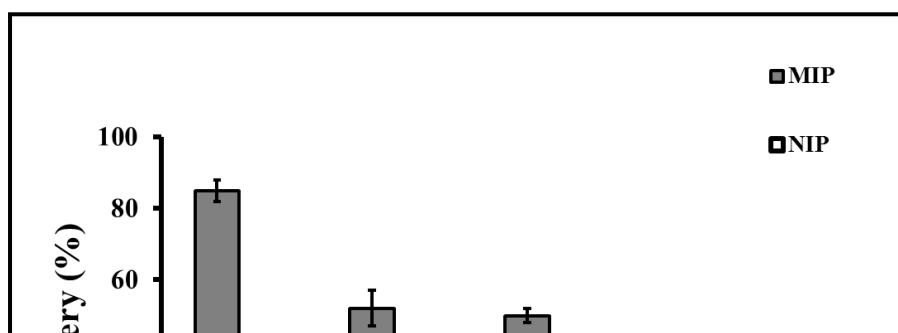
ศึกษาค่าความสามารถในการจับของ MIP เพื่อให้ทราบว่า MIP ที่นำไปใช้งานนั้นสามารถจับกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้ปริมาณเท่าใด ทำการทดลองโดยการแพ็ค MIP และ NIP 20 mg ลงในระบบอัดขีดขนาด 1 mL จากนั้นทำการสกัดด้วยเทคนิค SPE โดยการให้ลดตัวอย่างน้ำ DI ที่ spike เอ็นไซม์ความเข้มข้น 5 mg/L อย่างต่อเนื่องผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ และนำส่วนของน้ำที่ผ่านคาร์ทริดจ์ออกมาวิเคราะห์จนกระทั่งตรวจพบสัญญาณของเอนไซม์ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า MIP มีความสามารถในการจับกับสารเอนไซม์สูงกว่า NIP (20.10 mg สำหรับ MIP และ 6.08 mg สำหรับ NIP) ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งทำให้เหมาะสมแก่การนำโพลิเมอร์นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์เอนไซม์ปริมาณน้อยในน้ำได้

ตารางที่ 2 ค่าความสามารถในการจับของ MIP และ NIP สำหรับการวิเคราะห์เอตราซีนในน้ำ

ขั้นตอนการสกัดด้วยเทคนิค SPE	MIP	NIP
ปริมาตรของสารละลายเอตราซีนที่โหลดผ่าน SPE คาร์ทริดจ์ (mL)	5	5
ปริมาณของเอตราซีนที่โหลด (μg)	25	25
ปริมาณของเอตราซีนที่ได้กลับคืนมา (μg):		
ในขั้นตอนการโหลด	1.22 ± 0.07	8.05 ± 0.18
ในขั้นตอนการล้าง	3.03 ± 0.02	10.50 ± 0.20
ในขั้นตอนการระบายน้ำ	20.10 ± 0.30	6.08 ± 0.19

5.7 ศึกษาความจำเพาะเจาะจงของ MIP

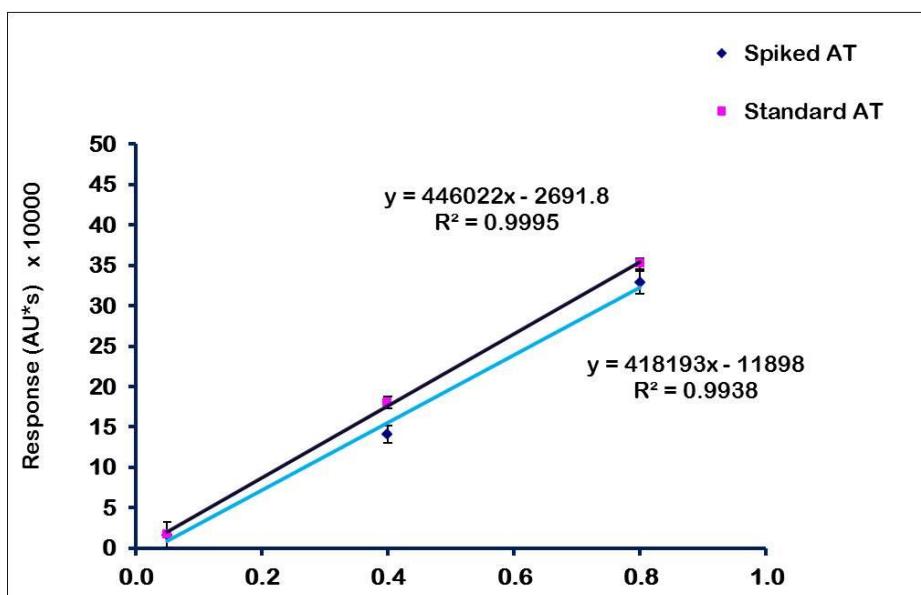
ในการทดสอบว่า MIP ที่เตรียมขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงกับสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือไม่ทำได้โดยการศึกษาการจับกันของสารที่สนใจเปรียบเทียบกับสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน ทำการทดลองโดยให้โหลดน้ำ DI ที่เต็ม (spike) สารเอตราซีน (atrazine) และสารอื่นที่มีโครงสร้างคล้ายกับเอตราซีน ได้แก่ simazine, terbutryne และ prometon ที่ความเข้มข้น 0.1 μg/L ในน้ำ ปริมาตร 100 mL ผ่าน MIP และ NIP คาร์ทริดจ์ พบร่วงโพลิเมอร์ MIP ที่เตรียมขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อสารเอตราซีน โดยให้ % recovery สูงสำหรับ MIP แต่ให้ % recovery ต่ำสำหรับ NIP ซึ่ง % recovery ของ MIP สำหรับสารเอตราซีน มีค่าสูงกว่ากว่าสารที่มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับเอตราซีนทั้งสามสาร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโพลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นมีรอยจุดจำต่อสารเอตราซีนสูง ทำให้สามารถจับเฉพาะสารเอตราซีนได้ดี ส่วนสารอื่นให้ % recovery ต่ำอาจเนื่องมาจากการอ่อน化ของสารจับกับโพลิเมอร์เหล่านี้ได้บางส่วน เพราะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับเอตราซีนมาก



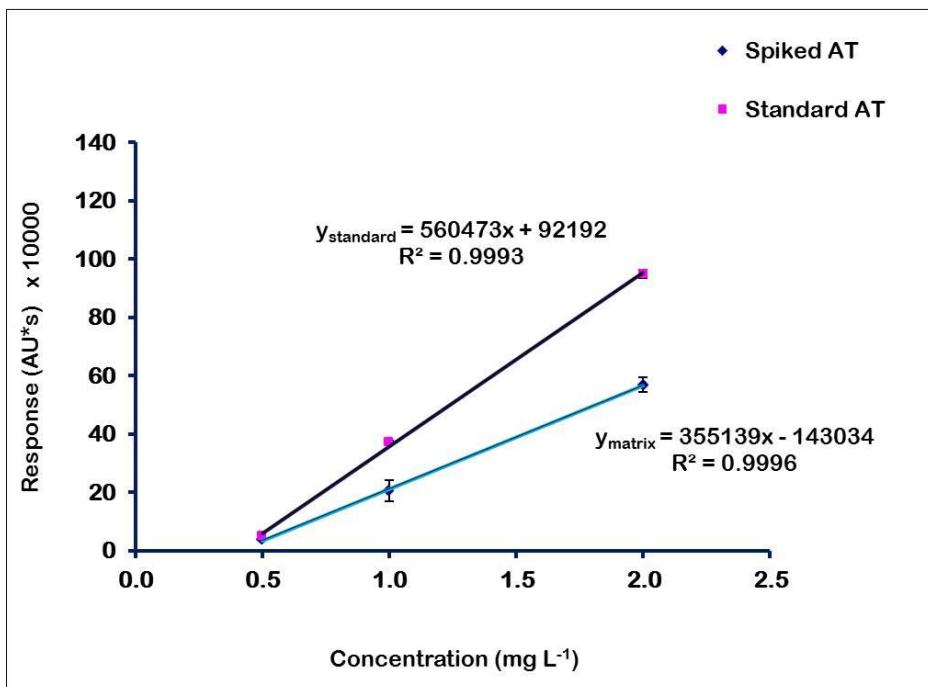
รูปที่ 24 ความจำเพาะเจาะจงของสาร atrazine เปรียบเทียบกับ simazine, terbutryn และ prometon ต่อโพลิเมอร์ MIP และ NIP

5.8 ศึกษาผลของตัวรบกวน (Matrix interference)

ทำการศึกษาผลของตัวรบกวนที่อาจมีอยู่ในตัวอย่างน้ำ ส่งส่งผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของสารเออราชีนโดยอาจทำให้สัญญาณลดลงกว่าความเป็นจริงได้ ศึกษาโดยการพล็อต calibration curve เทียบกับ matrix match calibration curve แล้วดูความซั่นว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทดสอบด้วยสถิติ 2-way ANOVA โดย R-software ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 25-28 ในตัวอย่างน้ำจาก sample site#1, sample site#2, sample site#3 และ sample site#4 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ความซั่นของ calibration curve เทียบกับ matrix match calibration curve มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.001$ ถึง $P < 0.05$ สำหรับ sample #1-4 ดังนั้นในการวิเคราะห์เออราชีนในน้ำจึงใช้ matrix match calibration curve ในการเทียบวิเคราะห์หาความเข้มข้นในตัวอย่าง

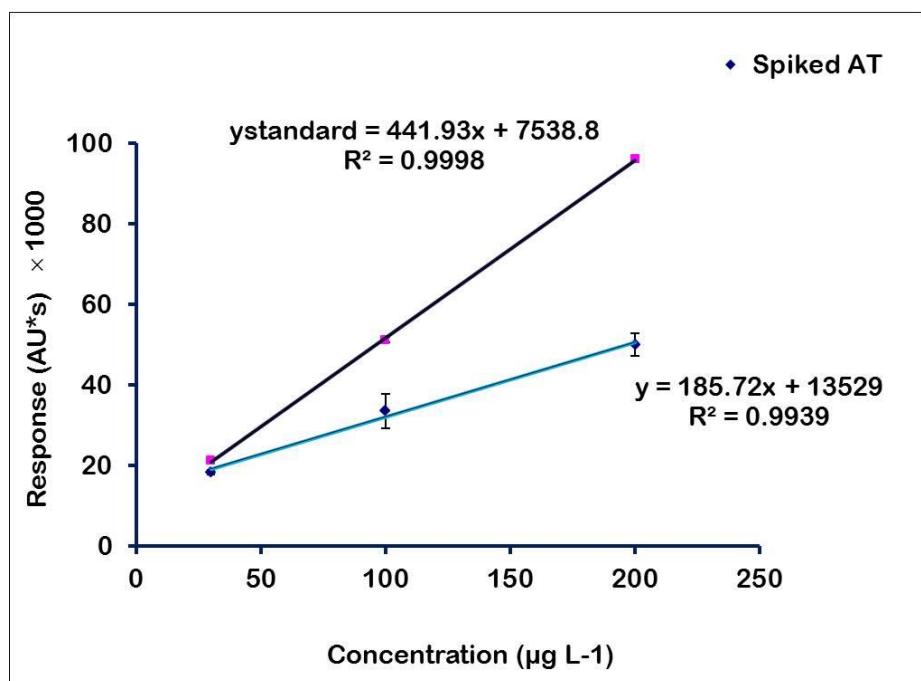


รูปที่ 25 calibration curve เทียบกับ matrix match calibration curve สำหรับ sample#1

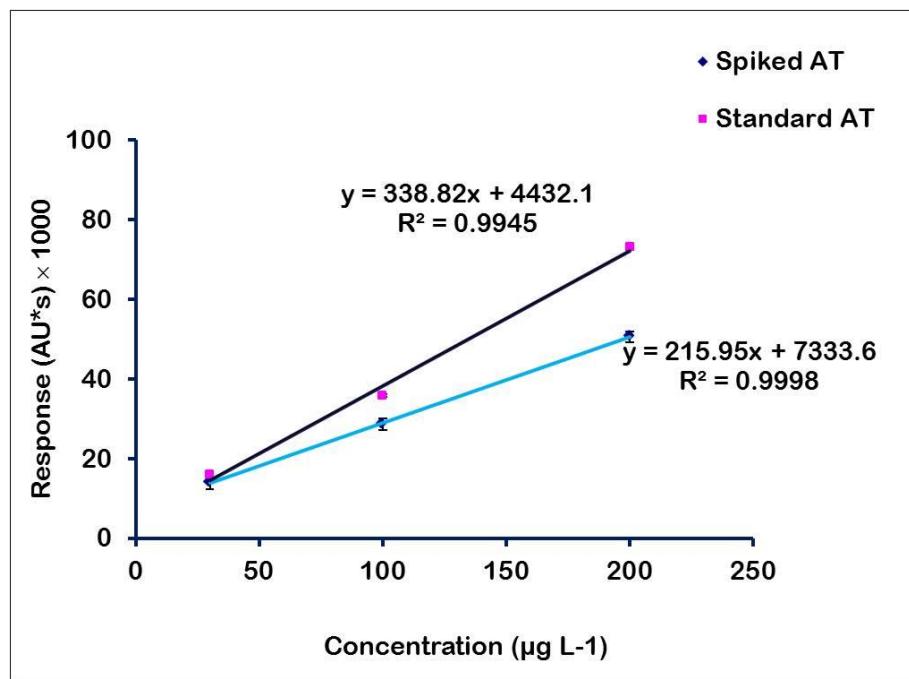


รูปที่

:2



รูปที่ 27 calibration curve เทียบกับ matrix match calibration curve สำหรับ sample#3



รูปที่ 27 calibration curve เทียบกับ matrix match calibration curve สำหรับ sample#3

5.9 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี (Method validation)

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีที่ศึกษา ได้แก่ recovery, precision, (% relative standard deviation), method detection limit และ Limit of quantitation จากผลการทดลอง (ตารางที่ 3) พบว่าผลการทดลองให้ % recovery สูงทั้งสองระดับความเข้มข้นที่ศึกษาคือ 89 ± 3 และ $12 \pm 1\%$ สำหรับ MIP และ NIP ตามลำดับและที่ความเข้มข้น 0.1 mg/L และ มีค่า 83 ± 3 และ $13 \pm 1\%$ ตามลำดับและที่ความเข้มข้น 0.05 mg/L โดยค่านี้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานของ EPA (80-120%, EPA, 2006a) นอกจากนี้ยังให้ค่าความแม่น (precision) ที่ได้ ($RSD = 3\%$) ซึ่งค่านี้น้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานของ EPA ที่ยอมรับที่ $RSD < 9\%$ EPA, 2006a) สำหรับค่าขีดจำกัดการตรวจจับของวิธี (Method detection limit, MDL) และขีดจำกัดของการหาปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) มีค่าอยู่ที่ 0.2 และ $0.6 \mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี เช่น recovery, precision, (% relative standard deviation), method detection limit และ Limit of Limit of quantitation

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าที่ได้
Recovery (%)	$89 \pm 3^*$ และ $83 \pm 3^{**}$
Relative standard deviation (%)	$3^*, **$
Method detection limit ($\mu\text{g/L}$)	0.2
Limit of quantitation ($\mu\text{g/L}$)	0.6

*Spiked concentration: 0.1 mg/L

**Spiked concentration: 0.05 mg/L

5.10 ประยุกต์ใช้โพลิเมอร์ลอกแบบ MIP ที่เตรียมขึ้นสำหรับการวิเคราะห์สารเอตราเซ็นปริมาณน้อย ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณในตัวอย่างน้ำ

ทำการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของสารเอตราเซ็นน้ำตัวอย่างจริงโดยใช้โพลิเมอร์ MIP ที่เตรียมขึ้นร่วมกับการการสกัดด้วยเทคนิค SPE และตรวจด้วยเทคนิค HPLC ที่สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องมือและการเตรียมตัวอย่างที่ศึกษามาแล้วข้างต้น ทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการเปรียบเทียบสัญญาณกับ matrix match calibration curve ของแต่ละตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากพื้นที่การเกษตรในจังหวัดนครศรีธรรมราชจำนวน 4 ตัวอย่าง พบร้าทุกตัวอย่างมีการตกค้างของสารเอตราเซ็น อยู่ที่ระดับความเข้มข้น $1.11 - 9.30 \mu\text{g}/\text{L}$ ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 29 ซึ่งแสดงสัญญาณของเอตราเซ็นที่ได้จากเครื่อง HPLC ของแหล่งน้ำที่พบการปนเปื้อนสูงสุดคือ sample site#2 อย่างไรก็ตามถือว่า ระดับที่ตรวจพบไม่เป็นอันตรายสำหรับน้ำที่เก็บจาก sample site# 3 และ 4 ส่วนระดับการปนเปื้อนของเอตราเซ็นเกินมาตรฐานน้ำใช้ ($> 3 \mu\text{g}/\text{L}$) ในตัวอย่างจาก sample site#1 และ 2 มีระดับการปนเปื้อนสูงกว่าระดับ MCL แต่ต่ำกว่าระดับ CCC และ CMC (ตารางที่ 5) ซึ่งจะไม่ส่งผลเสียให้เกิดพิษอย่างเฉียบพลันและเรื้อรังในสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนั้นน้ำจากแหล่งที่ 1 และ 2 ไม่ควรนำมาใช้ในครัวเรือนโดยเอตราเซ็นที่ตรวจพบนี้อาจมาจากภารยาปราบวัชพืชในแหล่งเพาะปลูกแต่งโมในพื้นที่ดังกล่าว เนื่องจากช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงฤดูการเพาะปลูกแต่งโม

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของเอตราเซ็นในตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจาก 4 แหล่งในพื้นที่เกษตรกรรมใน จ. นครศรีธรรมราช

แหล่งน้ำ	ปริมาณเอตราเซ็นที่ตรวจพบ ($\mu\text{g}/\text{L}$)
Sample #1	6.80 ± 0.53
Sample #2	9.30 ± 0.13
Sample #3	1.11 ± 0.23
Sample #4	1.42 ± 0.06

หมายเหตุ: Sample #1, 2, 3 จากแหล่งน้ำใกล้พื้นที่ปลูกแต่งโมในมหาวิทยาลัยลักษณ์

บริเวณใกล้อาคารวิชาการ, อุทยานพฤษศาสตร์ และอาคารนวัตกรรม ตามลำดับ

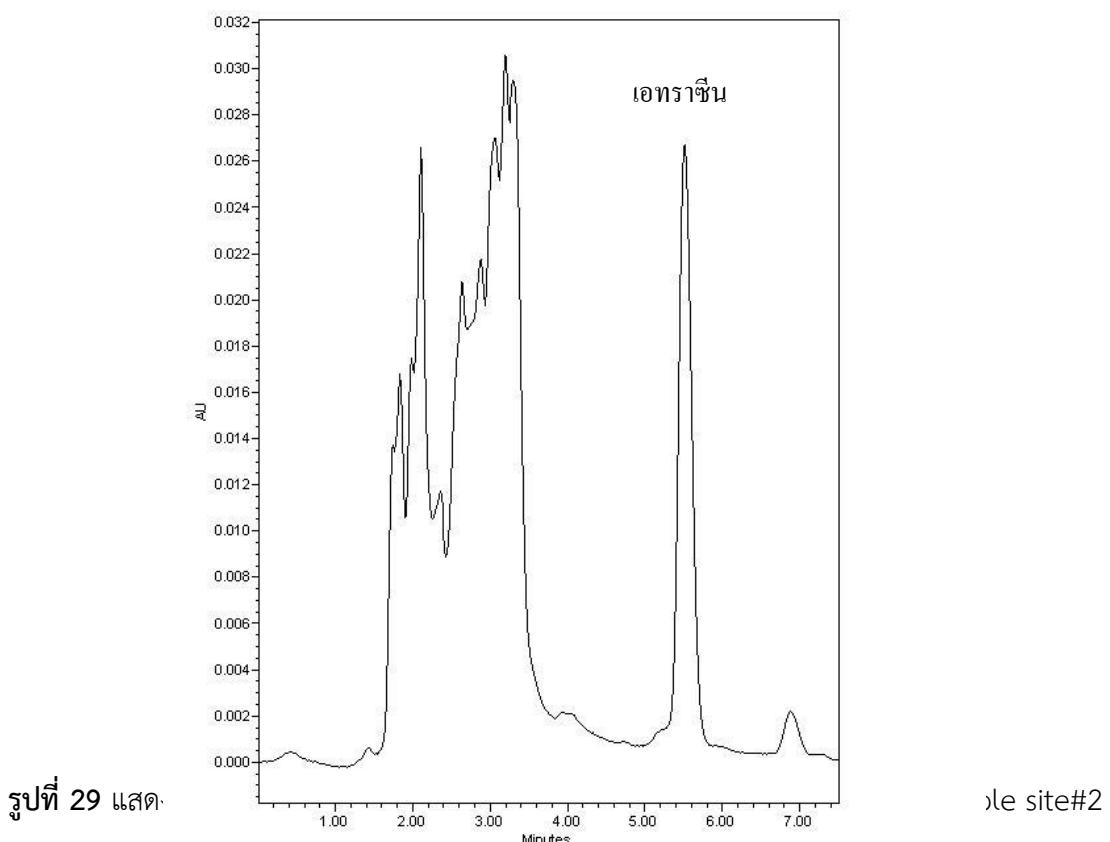
Sample site#4 จากแหล่งน้ำใกล้พื้นที่ปลูกพืชแบบไร่นาสวนผสมใน อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช

ตารางที่ 5 ปริมาณของเอตราเซ็นที่สามารถมีได้ในน้ำตามข้อกำหนดจากองค์กรณ์ต่างๆ

ชื่อมาตรฐาน	ปริมาณเอตราเซ็นที่สามารถมีได้	อ้างอิง
-------------	-------------------------------	---------

MCL: Maximum Contaminant Level (MCL) in Public-water supplies and drinking water	3 $\mu\text{g/L}$	(US EPA, 1999)
CMC: Criterion Maximum Concentration for protection of aquatic life from acute toxicity	350 $\mu\text{g/L}$	(US EPA, 1999)
CCC: Criterion Continuous Concentration for protection of aquatic life from chronic toxicity	12 $\mu\text{g/L}$	(US EPA, 1999)

US EPA : US Environmental Protection Agency



6. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาการสังเคราะห์โพลิเมอร์ลอกแบบ MIP โดยการใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ เพื่อลดเวลา ค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์และการเตรียมตัวอย่าง และลดการนำเข้าเครื่องไมโครเวฟราคาแพงจากต่างประเทศ โดยในงานวิจัยนี้พบว่าใช้เวลาในการเตรียมโพลิเมอร์เพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งน้อยกว่าการเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบที่เตรียมโดยวิธีทั่วไปคือการให้ความร้อนในอ่างให้ความร้อนซึ่งต้องใช้เวลานานถึง 20-24 ชั่วโมง ในงานวิจัยส่วนแรกเป็นการศึกษาสภาพที่เหมาะสมของเทคนิค HPLC รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพของระบบ เช่น ช่วงความเป็นกรด-ด่าง ขีดจำกัดการตรวจวัด เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เอทราซีนต่อไป ต่อมาได้ทำการสังเคราะห์โพลิเมอร์ MIP 2 แบบ คือแบบ precipitation polymerization และแบบ bulk

polymerization พบว่าแบบ bulk polymerization ให้โพลิเมอร์ที่ความจำเพาะเจาจะงต่อเอตราซีนสูงกว่าจึงเลือกใช้โพลิเมอร์แบบนี้ในการสกัดสารเอตราซีนในตัวอย่างน้ำต่อไป

ได้ศึกษาสภาพที่เหมาะสมของเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (SPE) ในตัวอย่างน้ำ DI ที่มีการเติมสารมาตรฐานเอตราซีนลงไปที่ความเข้มข้น 0.1 mg/L ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการล้างสารรบกวน ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการล้างสารรบกวน และปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการชำระสารเอตราซีนออกจากโพลิเมอร์ MIP หรือ NIP เมื่อได้สภาพที่เหมาะสมของเทคนิคการสกัดด้วย SPE แล้ว จากนั้นศึกษาความสามารถในการจับของโพลิเมอร์กับสารเอตราซีนที่รับความเข้มข้นของสารเอตราซีนในน้ำที่ 0.1 และ 0.05 mg/L พบว่าโพลิเมอร์ให้ความสามารถในการจับ (binding) สูง โดยมี % recovery อยู่ที่ 89 ± 3 และ $12 \pm 1\%$ และ 83 ± 3 and $13 \pm 1\%$ สำหรับ MIP และ NIP ตามลำดับ และยังพบว่า MIP นี้มีความสามารถในการจับกับสารเอตราซีนสูงกว่า NIP (20.05 mg สำหรับ MIP และ 6.05 mg สำหรับ NIP) ซึ่งเพียงพอที่จะใช้งานเป็นตัวดูดซับเอตราซีนปริมาณน้อยในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้จากการศึกษาความจำเพาะเจาจะงใน การจับของ MIP กับ เอตราซีน พบว่าโพลิเมอร์ MIP ที่เตรียมขึ้นมีความจำเพาะเจาจะงสูงต่อสารเอตราซีน โดยให้ % recovery สูงกว่าสารที่มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับเอตราซีนทั้งสามสารได้แก่ simazine, terbutryn และ prometon ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโพลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นมีรอยจุดจำกต่อสารเอตราซีนสูง ทำให้สามารถจับเฉพาะสารเอตราซีนได้ดี ส่วนสารอื่นให้ % recovery ต่ำอาจเนื่องมาจากการจับกับโพลิเมอร์เหล่านี้ได้บางส่วนเท่านั้น

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการสกัดโดยพบว่าโพลิเมอร์ลอกแบบนี้ให้ค่าความแม่น (precision) ที่ดีโดยมี $RSD = 3\%$ มีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดของวิธี (MDL) และขีดจำกัดของการหาปริมาณ (LOQ) มีค่าอยู่ที่ 0.2 และ 0.6 mg/L ตามลำดับ และเมื่อประยุกต์ใช้โพลิเมอร์ลอกแบบ MIP ในการวิเคราะห์น้ำในพื้นที่เกษตรกรรม 4 แหล่งใน จ. นครศรีธรรมราช พบว่าทุกตัวอย่างมีการตกลักของสารเอตราซีน อยู่ที่ระดับความเข้มข้น $1.11 - 9.30 \text{ mg/L}$ แต่อย่างไรก็ตามถือว่าระดับที่ตรวจพบไม่เป็นอันตรายสำหรับน้ำที่เก็บจาก sample site# 3 และ 4 ส่วนระดับการปนเปื้อนของเอตราซีนเกินมาตรฐานน้ำใช้ ($> 3 \text{ mg/L}$) ในตัวอย่างน้ำจาก sample site#1 และ 2 มีระดับการปนเปื้อนสูงกว่าระดับ MCL แต่ต่ำกว่าระดับ CCC และ CMC ซึ่งจะไม่ส่งผลเสียให้เกิดพิษอย่างเฉียบพลันและเรื้อรังในสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนั้นน้ำจากแหล่งที่ 1 และ 2 ไม่ควรนำมาใช้ในครัวเรือน

จากการวิจัยนี้ นักวิจัยได้ศึกษาความสามารถในการสังเคราะห์โพลิเมอร์ลอกแบบสำหรับสารเอตราซีนโดยใช้เวลารวดเร็ว เพียง 2 ชั่วโมงทำให้ได้โพลิเมอร์ลอกแบบที่มีความจำเพาะเจาจะงในการวิเคราะห์เอตราซีนปริมาณน้อยในแหล่งน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อการเฝ้าระวังและควบคุมการตกลักของสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้หากตรวจพบเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังเป็นการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในวัตถุประสงค์จากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์เองโดยคนไทยเพื่อประยุกต์ใช้งานต่อยอดได้จริงในหลายแขนง และอาจจะสามารถประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์โพลิเมอร์ลอกแบบที่มีความจำเพาะเจาจะงต่อสารตกลักชนิดอื่นๆ หรือตัวดูดซับอื่นๆ เพื่อการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมได้

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการโครงการ (Outcomes)

สามารถนำโพลิเมอร์ลอกแบบที่เตรียมขึ้นโดยการใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ ไปใช้เป็นตัวดูดซับของแข็งที่มีความจำเพาะเจาจะงในการเตรียมตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณยาปรับวัยพืชเอตราซีนปริมาณน้อย ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำในพื้นที่

เกษตรกรรม ซึ่งเป็นการลดเวลา ค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์และการเตรียมตัวอย่าง นอกจากนี้ยังลดการนำเข้าเครื่องไมโครเวฟที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาและประยุกต์ใช้นวัตกรรมที่คิดค้นโดยคนไทยมาใช้งานจริงทั้งสำหรับการสังเคราะห์โพลิเมอร์ที่มีความจำเพาะเจาะจงสูง ต่อสารที่สนใจ สามารถสังเคราะห์โพลิเมอร์ได้ในปริมาณที่ความต้องการและเพียงพอต่อการนำมาใช้งาน อีกทั้งยังสามารถควบคุมการตกค้างของสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้หากตรวจพบเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด

8. แนวทางในการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

8.1 นำโพลิเมอร์ลอกแบบที่เตรียมขึ้นโดยการใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ ไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารปราบวัชพืชที่ป่นเปื้อนในน้ำในแหล่งเกษตรกรรม เช่น น้ำจากแหล่งปลูกพืชต่าง ๆ

8.2 เผยแพร่ผลงานวิจัยโดยการนำเสนอผลงานในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ ในลักษณะบรรยายหรืออปสเตอร์

8.3 การถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีโดยการให้คำปรึกษา การเผยแพร่ ให้แก่เกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

9. บรรณานุกรม

เคมีเกษตรอุทกอม. 2554. http://www.chemikaset.com/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&pid=539323

เจียไต้. 2557. <http://www.chiataigroup.com>

สำนักงานจังหวัดนครศรีธรรมราช. 2552. <http://www.nakhonsithammarat.go.th/agriculture.php>

วงศ์แก้วและลิขิตตระกูลรุ่ง. 2552. น.ส.พ. กสิกร ปีที่ 82 ฉบับที่ 6 พฤษภาคม - ธันวาคม 2552.

Anh T K Tran, Ross V Hyne and Doble, P. 2007. Calibration of a passive sampling device for time-integrated sampling of hydrophilic herbicides in aquatic environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*. **26** (3): 435-443.

Arshady, R. and Mosbach, K. 1981. Rapid Communication: Synthesis of substrate-selective polymers by host-guest polymerization. *Die Makromolekulare Chemie*. **182** (2): 687 - 692.

Asperger, A., Efer, J. r., Koal, T. and Engewald, W. 2002. Trace determination of priority pesticides in water by means of high-speed on-line solid-phase extraction-liquid chromatography-tandem mass spectrometry using turbulent-flow chromatography columns for enrichment and a short monolithic column for fast liquid chromatographic separation. *Journal of Chromatography A* **960** (1-2): 109-119.

ATSDR. 2013. "ToxFAQs for Atrazine." From: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=854&tid=59>.

- Dong, X., Wang, W., Ma, S., Sun, H., Li, Y. and Guo, J. 2005. Molecularly imprinted solid-phase extraction of (-)-ephedrine from Chinese Ephedra. *Journal of chromatography A* **1070** (1-2): 125-130.
- Deng, S. G. and Lin, Y. S. 1997. Microwave heating synthesis of supported sorbents. *Chemical Engineering Science* **52** (10): 1563-1575.
- USEPA. 1999. National Recommended Water Quality Criteria-Correction. EPA 822/Z-99/001. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- EPA. 2003. Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets. Atrazine Interim Reregistration Eligibility Decision (IRED) Q&A's - January 2003, U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. 2006. Ground Water & Drinking Water: Consumer Factsheet on: ATRAZINE. *Environmental Protection Agency*.
- Green, J. M. 1996. A practical guide to analytical method validation. *Analytical Chemistry. News and Features*: 305-309A.
- Hamilton, R. J. and Sewell, P. A. 1982. Introduction to high performance liquid chromatography (2nd ed.), 248 pp. London: Chapman and Hall.
- Huck, C. W. and Bonn, G. K. 2000. Recent developments in polymer-based sorbents for solid-phase extraction. *Journal of Chromatography A* **885** (1-2): 51-72.
- Hildebrandt, A., Guillamn, M., Lacorte, S., Tauler, R. and Barcelo, D. 2008. Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain). *Water Research* **42** (13): 3315-3326.
- Kueseng, P.; Le Noir, M.; Mattiasson, B.; Thavarungkul, P.; Kanatharana, P. Molecularly imprinted polymer for analysis of trace atrazine herbicide in water. 2009. *Journal of Environmental Science and Health, Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. **44(8)**: 772-780.
- Le Noir, M., Plieva, F., Hey, T., Guiyssse, B. and Mattiasson, B. 2007. Macroporous molecularly imprinted polymer/cryogel composite systems for the removal of endocrine disrupting trace contaminants. *Journal of Chromatography A* **1154** (1-2): 158-164.
- Mattice, J. D., Park, S. K. and Lavy, T. L. 1998. Potential Passive Empore C18 Disk Extraction for Analysis of Water Samples Containing Fine Particulates. *Environmental Contamination and Toxicology* **60**: 202-208.
- Masqué, N., Marcé, R. M. and Borrull, F. 2001. Molecularly imprinted polymers: new tailor-made materials for selective solid-phase extraction. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **20** (9): 477-486.
- Mizota, K. and Ueda, H. 2006. Endocrine Disrupting Chemical Atrazine Causes Degranulation through Gq/11 Protein-Coupled Neurosteroid Receptor in Mast Cells *Toxicological Sciences* **90** (2): 362-368.

- Molinelli, A. 2004. Molecularly imprinted polymer: towards a rational understanding of biomimetic materials. Georgia Institute of Technology, Georgia. USA.
- Meloan, C. E. 1999. Chemical Separations: Principles, Techniques, and Experiments. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Muldoon, M. T. and Stanker, L. H. 1997. Molecularly Imprinted Solid Phase Extraction of Atrazine from Beef Liver Extracts. *Analytical Chemistry*. **69**: 803-809.
- Ormad, M. P., Miguel, N., Claver, A., Matesanz, J. M. and Ovelleiro, J. L. 2008. Pesticides removal in the process of drinking water production. *Chemosphere* **71** (1): 97-106.
- Phewnil, O, Tungkananurak, N, Panichsakpatana, S, Pitiyont, B, Siripat, N and Watanabe, H. 2012. *Environment and Natural Resource*. **10**(1): 42-52
- Pichon, V. 2000. Solid-phase extraction for multiresidue analysis of organic contaminants in water. *Journal of Chromatography A* **885** (1-2): 195-215.
- Poole, C. F. and Schuette, S. A. 1984. Contemporary practice of chromatography (1st ed.), 708 pp. New York: Elsevier Science.
- R Development Core Team 2006. R: A language and environment for statistical computing; R Foundation for Statistical Computing; Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0.
- Simpson, N. J. K. 2000. Solid-Phase Extraction: Principles, technique, and Applications ed., 514 pp. New York: Marcel. Dekker, Inc.
- Snyder, L. R. and Kirkland, J. J. 1979. Introduction to Modern Liquid Chromatography (2nd ed.), 863 pp. New York: John Wiley & Sons.
- Supelco. 2013. From: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?interface>All&term=MIP+cartridge&lang=en®ion=TH&focus=product&N=0+220003048+219853254+219853286&mode=match%20partialmax>
- Swartz, M. and Krull, I. 1997. Analytical method development and validation, 92 pp. New York: Marcel Dekker.
- Tamayo, F. G., Turiel, E. and Martin-Estebar, A. 2007. Molecularly imprinted polymers for solid-phase extraction and solid-phase microextraction: Recent developments and future trends. *Journal of Chromatography A* **1152** (1-2): 32-40.
- Theodoridis, G. and Manesiotsis, P. 2002. Selective solid-phase extraction sorbent for caffeine made by molecular imprinting. *Journal of Chromatography A* **948** (1-2): 163-169.
- Vallano, P. T. and Remcho, V. T. 2000. Highly selective separations by capillary electrochromatography: molecular imprint polymer sorbents. *Journal of Chromatography A* **887** (1-2): 125-135.

- Yang, H. H., Zhou, W. H., Guo, X. C., Chen, F. R., Zhao, H. Q., Lin, L. M. and Wang, X. R. 2009. Molecularly imprinted polymer as SPE sorbent for selective extraction of melamine in dairy products. *Talanta* **80** (2): 821-825.
- Yang, J., Hu, Y., Cai, J. B., Zhu, X. L., Su, Q. D., Hu, Y. Q. and Liang, F. X. 2007. Selective hair analysis of nicotine by molecular imprinted solid-phase extraction: An application for evaluating tobacco smoke exposure. *Food and Chemical Toxicology* **45** (6): 896-903.
- Yuan, Y., Wang, Y., Huang, M., Xu, R., Zeng, H., Nie, C. and Kong, J. 2010. Development and characterization of molecularly imprinted polymers for the selective enrichment of podophyllotoxin from traditional Chinese medicines. *Analytica Chimica Acta* **695** (1-2): 63-72.
- Zhang, Y., Liu, R., Hu, Y and Gongke Li, G. 2009. Microwave Heating in Preparation of Magnetic Molecularly Imprinted Polymer Beads for Trace Triazines Analysis in Complicated Samples. *Analytical Chemistry*. **81**: 967-976.
- Zhang, Y., Li, Y., Hu, Y., Li, G. and Chen, Y. 2010. Preparation of magnetic indole-3-acetic acid imprinted polymer beads with 4-vinylpyridine and [beta]-cyclodextrin as binary monomer via microwave heating initiated polymerization and their application to trace analysis of auxins in plant tissues. *Journal of Chromatography A* **1217** (47): 7337-7344.
- Zhu, H., Wang, Y., Yuan, Y. and Zeng, H. 2011. Development and characterization of molecularly imprinted polymer microspheres for the selective detection of kaempferol in traditional Chinese medicines. *Analytical Methods* **3** (2): 348-355.

โครงการย่อยที่ 3 เรื่อง ผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อคุณลักษณะคุณค่าทางโภชนาการและลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผง (Effects of drying process on characteristics, nutrition value and microstructure of Gac fruit powder)

โดย
วิสาขะอนันธ์วัช

มีนาคม 2558

ชื่อโครงการ	ผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อคุณลักษณะคุณค่าทางโภชนาการและลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผง (Effects of drying process on characteristics, nutrition value and microstructure of Gac fruit powder)
หัวหน้าโครงการ	นางวิสาขอนันธ์วัช
หน่วยงานต้นสังกัด	สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์
ระยะเวลาดำเนินการ	1 ปี 6 เดือน (วันที่ 25 กันยายน 2556 ถึง วันที่ 24 มีนาคม 2558)

1. บทนำ

ฟักข้าวเป็นพืชผักสมุนไพรพื้นบ้านของไทยที่ได้รับความสนใจจากกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ ฟักข้าวมีพุทธคุณที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาสารสำคัญในฟักข้าวได้แก่ ไลโคปีน (lycopene) และเบต้าแครอทีน (β -carotene) รายงานการวิจัยทั้งในและต่างประเทศระบุว่าช่วยลดและป้องกันโรคหลอดเลือด เช่นมะเร็งต่อมลูกหมากมะเร็งปอด เป็นต้น ฟักข้าวถูกนำมาบริโภคในลักษณะผลสดและนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่นน้ำฟักข้าวฟักข้าวผง เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวตากแห้ง แคบปูลฟักข้าวและน้ำมันเมล็ดฟักข้าวฟักข้าวผง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความโดยเด่นลักษณะแห้งเบาปริมาณความชื้นต่ำ อายุการเก็บรักษานานที่อุณหภูมิห้องสามารถนำมาแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์อาหารหรือใช้เป็นส่วนประกอบในเวชสำอางได้ง่าย ประเทศไทยมีการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผง ในเชิงพาณิชย์ในรูปแบบต่างๆ กัน โดยผลิตจากผู้ผลิตในระดับโรงงานอุตสาหกรรม SMEs และในระดับครัวเรือนผลิตภัณฑ์มีทั้งที่ผลิตโดยถูกต้องตามหลักเกณฑ์กรรมวิธีการผลิตที่ดี (Good Manufacturing Practice) และที่ผลิตอย่างไม่ถูกสุขลักษณะโดยเฉพาะการผลิตในระดับครัวเรือนหรือระดับบุษนัชน์จากานี้ยังพบว่าข้อมูลการวิจัยมีค่อนข้างจำกัด เกี่ยวกับผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อคุณลักษณะคุณค่าทางโภชนาการ และยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง (microstructure) ของฟักข้าวผงซึ่งเป็นคุณลักษณะที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำฟักข้าวผงไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และเวชสำอาง โครงการวิจัยจึงมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงด้วยกระบวนการทำแห้งที่แตกต่างกันได้แก่ การทำแห้งแบบไมโครเวฟ (microwave drying) การทำแห้งแบบโฟม-แมท (foam-mat drying) การทำแห้งแบบพ่นผอย (spray drying) และการทำแห้งแบบเยื่อเยื่อแข็ง (freeze drying) เปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบลมร้อน (hot air drying) ที่นิยมใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร มุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงให้มีคุณลักษณะที่ดีสามารถคงคุณค่าทางโภชนาการของฟักข้าวไว้ให้ได้มากที่สุด การดำเนินโครงการวิจัยนี้จะช่วยยกระดับผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงให้ได้มาตรฐาน เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มจากพืชผักสมุนไพรพื้นบ้านส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศไทย

จังหวัดนครศรีธรรมราชมีการปลูกฟักข้าวในหลายพื้นที่ ฟักข้าวส่วนใหญ่ถูกบริโภคในลักษณะผลสด (ผลมีสีเขียวถึงสีส้ม) โดยใส่เป็นผักในแกงเลียงหรือแกงส้ม ผู้บริโภคบางรายบริโภคเยื่อหุ้มเมล็ดฟัก

ข้าวสุกสีแดงสดบางรายนำฟักข้าว (ผลสีส้มแดง) มาฝานเป็นชิ้นบางๆนำไปตากแห้งแล้วบดเป็นผง จำหน่ายในลักษณะแคปซูลบางรายนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสีแดงไปผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพโดยใช้ ผสมกับน้ำผลไม้ชนิดอื่นบางรายนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสีแดงไปใช้เป็นส่วนประกอบในเวชสำอางเช่นสูตร ครีมโลชั่นกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีทั้งที่ถูกสุขลักษณะและไม่ถูกสุขลักษณะออกจากนี้ยัง พบว่ามีผลผลิตฟักข้าวจำนวนมากถูกปล่อยให้สกูบนต้นหล่นทิ้งไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์เนื่องจากผู้ ปลูกไม่มีแหล่งจำหน่ายผลผลิตคงจะผู้วิจัยเล็งเห็นช่องทางในการช่วยเหลือเกษตรกรผู้ปลูกฟักข้าวผู้ผลิต และผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์จากฟักข้าวโดยการนำเยื่อหุ้มเมล็ดของฟักข้าวในระยะสุกเต็มที่ (ผลมีสีแดง) มา ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ฟักข้าวแดงเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและเวช สำอางเน้นกระบวนการทำแห้งที่ให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ฟักข้าวแดงที่มีคุณลักษณะที่ดีคงคุณค่าทาง โภชนาการไว้ได้มากที่สุดการดำเนินโครงการนี้จะช่วยให้เกษตรกรผู้ปลูกฟักข้าวมีแหล่งจำหน่ายผลผลิต ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากฟักข้าวได้รับความสะดวกในการนำฟักข้าวแดงไปใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ และผู้บริโภคได้รับผลิตภัณฑ์จากฟักข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณทางเภสัชวิทยา

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของการทำแห้งต่อคุณลักษณะคุณค่าทางโภชนาการและ ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวแดง
- 2.2 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ฟักข้าวแดง
- 2.3 เพื่อศึกษาการนำผลิตภัณฑ์ฟักข้าวแดงไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

3. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟักข้าวมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Momordica cochinchinensis* (Lour) Spreng or *Muricia cochinchinensis* Spreng, Gac ชื่อพื้นเมืองคือช้าเครือผักข้าวพุคูเต้าอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae เป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเนื่องจากมีสีส้มออกสีแดงเนียนนุ่มและเนื้ยวายเยื่อหุ้มเมล็ดมีความ หนา 1 – 3 มิลลิเมตรห่อหุ้มเมล็ดที่มีสีดำฟักข้าวมีเบต้าแครอทีนและไลโคปีนในปริมาณสูงมีรายงานว่า เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวนี้เบต้าแครอทีนสูงกว่าแครอทถึง 10 เท่าและมีไลโคปีนมากกว่ามะเขือเทศถึง 70 เท่าทางการแพทย์พิสูจน์แล้วว่าไลโคปีนจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเป็นสารต้านมะเร็งมีฤทธิ์ต้านอนุมูล อิสระสูงช่วยเสริมภูมิคุ้มกันให้ร่างกายมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็งต่อมลูกหมากมะเร็งปอดและมะเร็งกระเพาะอาหารรายงานการวิจัยระบุว่าไลโคปีนและเบต้า แครอทีนสามารถป้องกันและบำบัดมะเร็งและการขาดวิตามินเอ

Tien et al. (2005) รายงานว่ามีผลไม้ที่สกัดจากฟักข้าวแห้งสามารถลดน้ำหนักมะเร็งในหนู ทดลองได้ร้อยละ 23.6 Kucuk et al. (2002) ทดลองให้ผู้ที่เป็นมะเร็งต่อมลูกหมากบริโภคสารสกัดไลโค ปีนจากมะเขือเทศจำนวน 30 มิลลิกรัมเป็นเวลา 3 สัปดาห์พบว่ามะเร็งของคนไข้เหล่านี้มีขนาดเล็กลง และมีการแพร่กระจายน้อยกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับสารสกัดดังกล่าวไลโคปีนจึงถูกพิจารณาว่ามี ประโยชน์ในการรักษามะเร็งต่อมลูกหมากเนื่องจากมี antioxidant properties สูง Vuong (2000) ทดลองให้เด็กเวียดนามที่อยู่ในสภาพอากาศวิตามินเออย่างรุนแรงจำนวน 193 คนที่มีอายุตั้งแต่ 31 ถึง 70 เดือนบริโภคฟักข้าวที่หุงผสานเนื้อฟักข้าวเปรียบเทียบกับเด็กที่บริโภคฟักข้าวผสานเบต้าแครอทีนสังเคราะห์

และเด็กที่บริโภคข้าวที่ใส่สีแดงพบว่าหลังการบริโภคข้าวดังกล่าวเป็นเวลา 30 วันเด็กที่บริโภคข้าวผสมเนื้อฟักข้าวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าฟักข้าวมีศักยภาพในการบำบัดการขาดวิตามินเอในเด็ก

ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช้าได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพมากเนื่องจากพืช้ามีปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนสูงคารอทีโนเจดเหล่านี้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่สามารถป้องกันและบำบัดมะเร็ง (Tran, Nguyen, Zabarasz & Vu, 2008) และในเยื่อหุ้มเมล็ดพืช้ามีกรดไขมันสายยาวที่ช่วยในการดูดซึมเบต้าแคโรทีนไปใช้ประโยชน์ในร่างกายพืช้าประกอบด้วยเบต้าแคโรทีนมากกว่า 16 มิลลิกรัม/100 กรัมและไลโคปีนมากกว่า 50 มิลลิกรัม/100 กรัม (Vuong, 2000; Aoki et al., 2002) นอกจากนี้ผลพืช้ายังมีสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการอื่นๆสูงเช่นวิตามินอี (7.6 มิลลิกรัม/100 กรัม) กรดไขมันไม่อิ่มตัวและ polyunsaturated fatty acids (852 มิลลิกรัม/100 กรัม) (Vuong, 2000; Vuong et al., 2006) ไขมันในเนื้อพืช้ามีบทบาทสำคัญในการดูดซึมแครอทีนวิตามินอีและสารอาหารที่ละลายได้ในไขมัน (Kuhnlein, 2004) พบว่าร้อยละ 70 ของกรดไขมันทั้งหมดในเนื้อพืช้าเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวและร้อยละ 50 เป็น polyunsaturated fatty acids (Vuong, 2000)

ผลิตภัณฑ์ฟักข้าวที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้แก่น้ำฟักข้าวนึ่งฟักข้าวดองน้ำซึ่งฟักข้าวผงน้ำมันฟักข้าวน้ำมันฟักข้าวในเอกสารอื่นรวมถึงอาหารเสริมจากฟักข้าวนอกจากนี้ยังมีการนำฟักข้าวมาเป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอางโดยคณะวิจัยจากคณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยพายัพทำการวิจัยเรื่องการนำน้ำมันของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในอนุภาคไขมันระดับนาโนมาพัฒนาเป็นเครื่องสำอางครบวงจรริ้วรอยเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวยังถูกใช้เป็นสารให้สี (colorant) ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างไรก็ตามผลฟักข้าวสุดเน่าเสียได้ง่ายและอาจเกิดความเสียหายเชิงกลในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนส่งดังนั้นการนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมาประปูเป็นผลิตภัณฑ์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษานานขึ้นและสะดวกแก่การขนส่งทั้งนี้พบว่าผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีความสะอาดในการใช้เป็นสารให้สีอาหารเสริมคุณค่าทางโภชนาการและส่วนประกอบทางเภสัชวิทยามากกว่าเนื้อฟักข้าวสุดและผลิตภัณฑ์ฟักข้าวอื่นๆการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งเพื่อรักษาคุณภาพของไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนตามธรรมชาติและสีสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและยาเป็นเรื่องที่สำคัญมาก

การทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบต่างๆ เช่น เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟ (microwave drier) เครื่องทำแห้งแบบโฟม-แมท (foam-mat drier) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier) เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (freeze drier) และ เครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน (hot air drier) ต่างก็มีผลต่อคุณลักษณะคุณค่าทางโภชนาการและลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ผงสำเร็จรูปและต้องการขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกันอย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า การวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ฟักข้าวผง มีค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ฟักข้าวผง

การเลือกวัตถุดิบและขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปมีอิทธิพลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปทั้งทางด้านกายภาพ (สีการคืนตัวความหนาแน่นก่อนอัด) ทางด้านเคมี (ปริมาณสารอาหารและ antioxidant activity) และทางด้านจุลินทรีย์ดังนั้นในการแปรรูปพืชข้าวผงจึง

จำเป็นต้องเลือกพิกข้าวที่แก่จัดและสุก (ripe) ผิวเปลือกมีสีแดงมากกว่า 2/3 ของเปลือกมีขนาดใกล้เคียงและพันธุ์เดียวกันเพื่อควบคุมความแปรปรวนที่เกิดเนื่องจากตัวตุ่นดิบเอง

การเลือกใช้เครื่องมือและสภาพภาวะในการทำแห้งต่างก็มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ผลสำเร็จรูปเนื่องจากพิกข้าวมีสารที่มีคุณค่าทางอาหารและสรรพคุณทางเภสัชวิทยาสูงจะจำเป็นต้องเลือกเครื่องมือและสภาพที่ใช้ในการทำแห้งที่ช่วยรักษาสารอาหารเหล่านั้นทั้งนี้อุณหภูมิการทำแห้งระยะเวลาในการทำแห้งความเร็วลมร้อนและสภาพสูญญากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ในประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้

เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟอาศัยหลักการให้ความร้อนแบบโดยอิเล็กทริก (dielectric heating) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งคลื่นไมโครเวฟ (microwave) จะถูกส่งผ่านไปยังอาหารซึ่งเป็นวัสดุโดยอิเล็กทริก (dielectric material) โดยเกลือของน้ำที่อยู่ในอาหารเป็นไมโลเกลือที่มีทั้งข้อ不便และข้อดีดังนี้เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟจะเกิดการหมุนตัวเสียดสีกันเกิดความร้อนอุณหภูมิของอาหารจะสูงขึ้นส่งผลให้น้ำระเหยและความชื้นในอาหารลดลงอย่างรวดเร็วการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่างจากการทำแห้งด้วยลมร้อนตรงที่ความร้อนจากไมโครเวฟเกิดขึ้นภายในขั้นของอาหารมีการกระจายตัวสม่ำเสมอส่วนการทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในในขั้นอาหาร

การทำแห้งแบบโพฟ-แมมเป็นวิธีการทำแห้งโดยการนำของเหลวหรือก๊าซเหลวมาตีให้อาการเข้าไปภายในพิล์มนของของเหลวทำหน้าที่เป็นผนังเซลล์กันและห่อหุ้มอากาศไว้ภายในทำให้เกิดโพฟ (foam) ที่มีความคงตัวจากน้ำหนึ่งนำโพฟที่มีความคงตัวไปทำแห้งเพื่อให้เกิดลักษณะโครงสร้างภายในที่เป็นรูพรุนการทำให้เกิดโพฟก่อนการทำแห้งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสอากาศร้อนทำให้อัตราการระเหยน้ำระหว่างการทำแห้งสูงขึ้นลดการสูญเสียกลั่นรสของผลิตภัณฑ์ (Sankat & Castaigne, 2004) การทำแห้งแบบนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำใช้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่สูงจึงสามารถช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการและสีของผลิตภัณฑ์ได้ความคงตัวของโพฟที่เกิดขึ้นระหว่างการทำแห้งด้วยวิธีโพฟ-แมมมีความสำคัญมากเนื่องจากถ้าโพฟไม่คงตัวจะทำให้ผนังเซลล์หรือพิล์มนของโพฟแตกออกระหว่างการทำแห้งทำให้โพฟเกิดการยุบตัวและสูญเสียลักษณะการเป็นรูพรุนปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโพฟได้แก่สูบติดทางเคมีของตัวตุ่นดิบชนิดและความเข้มข้นของสารก่อโพฟ (Vernon-Carter et al., 2001) สารก่อให้เกิดโพฟที่นิยมใช้ได้แก่เมทธิลเซลลูโลส (methylcellulose) เมโทเซล (methocel) ซอยโปรตีนไอกโซเจท (soy protein isolate) และ glyceryl monostearate (GMS) (คุ้มเกล้าและพนิดา, 2551; ชุติมาและคณะ, 2553; ธนาวรรณและธนกร, 2555)

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตผักและผลไม้แห้งในเชิงพาณิชย์ผลิตภัณฑ์แห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยมีคุณสมบัติในการคืนน้ำดีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระต่ำเครื่องทำแห้งแบบนี้เหมาะสมสำหรับส่วนประกอบที่ไวต่อความร้อนเช่นคาโรทีโนiyด์การทำแห้งแบบพ่นฟอยถูกนำมาใช้ในการรักษาความคงตัวของคาโรทีโนiyด์ในมันเทศแครอทและมะเขือเทศ (Laos et al., 2007) อย่างไรก็ตาม Tran et al. (2008) ไม่ประสบผลสำเร็จในการทำแห้งพิกข้าวโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยและรายงานว่าการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดพิกข้าวโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบนี้จำเป็นต้องใช้ตัวช่วยในการทำแห้ง (drying aid) เช่นมอลโตเดคтирินซ์ในการป้องกันสีและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของพิกข้าว

เครื่องทำแห้งแบบระเหิดเป็นเครื่องทำแห้งที่ทำให้เกิดการระเหยของน้ำแข็งไปเป็นก๊าซสามารถทำงานได้ในสภาวะสูญญากาศและอุณหภูมิในการทำแห้งต่ำจึงสามารถคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้ดีผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเบาแห้งเครื่องทำแห้งแบบนี้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงกว่าเครื่องทำแห้งแบบทั่วไป

นอกจากปริมาณสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการแล้วสีของผลิตภัณฑ์ยังเป็นคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่สำคัญซึ่งได้รับผลกระทบจากการทำแห้ง (Abadio et al., 2004) การเลือกภาชนะบรรจุและสภาวะในการเก็บรักษาที่เหมาะสมจะช่วยลดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ลงสำเร็จรูปได้ทั้งนี้มีรายงานว่าอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ของบรรจุภัณฑ์และสภาพบรรจุภัณฑ์ในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลงสำเร็จรูปและช่วยลดปฏิกิริยาทางชีวเคมีออกจากน้ำพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงครัวดำเนินถึงความสะอาดในการนำไปใช้งานค่าใช้จ่ายในการผลิตอย่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และที่สำคัญผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแล้วคงคุณค่าทางโภชนาการได้มากที่สุด

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลิสระจากสมุนไพรพื้นบ้านของไทยจัดเป็นการเพิ่มมูลค่าพืชสมุนไพรเพื่อสนับสนุนความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการทำแห้งผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงเพื่อใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพหรือใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพหรือเครื่องสำอางการศึกษาร่วมถึงการคัดเลือกผลฟักข้าวการพัฒนาขั้นตอนการเตรียมวัตถุกระบวนการการทำแห้ง (เครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้งและสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง) การวิเคราะห์คุณลักษณะคุณค่าทางโภชนาการ antioxidant activity ลักษณะโครงสร้างการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากฟักข้าวผงเน้นการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการได้มากที่สุดและสามารถนำไปต่อยอดได้ในเชิงพาณิชย์

4. ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 วิธีการศึกษา

(1) การเตรียมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

คัดเลือกผลฟักข้าวที่สุกเต็มที่เปลือกมีสีแดงมากกว่า 2/3 ของเปลือกทั้งหมดนำมาแยกส่วนเปลือกเนื้อยื่นเยื่อหุ้มเมล็ดและเมล็ดออกบันทึกน้ำหนักนำส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงและเนื้อสีเหลืองมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและปริมาณสารสำคัญที่มีอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่งได้แก่ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนรวมถึงวิเคราะห์ค่า Antioxidant activity

(2) ศึกษาผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ลงสำเร็จรูปดังนี้

- ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ
- ชนิดของเครื่องทำแห้งได้แก่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟเครื่องทำแห้งแบบโพเม-แมทเครื่องทำแห้งแบบระเหิดและเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน
- สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง (อุณหภูมิความดัน)

- การใช้สารช่วยในการทำแห้งเช่นสารตัวพาและสารทำให้เกิดโฟมในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน
 - ตัวอย่างที่ควบคุมคือฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนเนื่องจากเครื่องดังกล่าวมีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร
- (3) วิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงทางด้านกายภาพ (สีความหนาแน่นก่อนอัด การคืนตัวการละลายน้ำ) ทางเคมี (pH ปริมาณความชื้น อัตราปฏิกัดออกไซด์ต้านอนุมูลอิสระ antioxidant activity) และทางจุลินทรีย์ (ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา)
- (4) การเปรียบเทียบเชิงปริมาณของสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งชนิดต่างๆ คำนวณเฉพาะส่วนของวัตถุดิบฟักข้าวทั้งนี้ไม่รวมถึงสารตัวพาหรือสารที่ช่วยทำให้เกิดโฟมในกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้ เช่นในการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพ่นไฝและการทำแห้งแบบโฟม-แมท
- (5) ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส และอาจรวมถึงการศึกษาอายุการเก็บในสภาพเร่ง
- (5) ศึกษาการนำฟักข้าวผงไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่นนมปรุงริมฟักข้าวนมอัดเม็ดรสฟักข้าวและน้ำฟักข้าว
- (6) ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากฟักข้าวผง

4.2 การเตรียมตัวอย่างฟักข้าวและการวิเคราะห์

- (1) การคัดเลือกผลฟักข้าว (Gac fruit collection)

คัดเลือกผลฟักข้าวที่มีความสุกเต็มที่ (fully ripe fruits) ซึ่งผลมีสีแดงปักคลุมมากกว่า 2/3 ของผิวน่องจากระดับความสุก (ripeness degree) ของผลฟักข้าวส่งผลถึงความแพร่ผ่านของปริมาณคาร์บอโนลด์ (Maiani et al., 2009)

- (2) การเตรียมเนื้อฟักข้าว (fresh Gac fruit aril preparation)

ทำความสะอาดผลฟักข้าวแยกส่วนเนื้อสีเหลืองและเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงที่ล้อมรอบเมล็ดออกน้ำเยื่อหุ้มเมล็ดเยื่อสีแดง (0.5 กิโลกรัม) มาผสมกับน้ำกลั่น (2.5 ลิตร) ในอัตราส่วน 1 : 5 ด้วยเครื่องผสมของห้องปฏิบัติการควบคุมให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (total soluble solid) ร้อยละ 20 นำน้ำฟักข้าวที่ได้มารองผ่านตะแกรงกรองขนาดช่องเปิด $100 \mu\text{m}$ จำนวน 2 ครั้ง

- (3) สภาวะการทำแห้งสำหรับสารละลายเนื้อฟักข้าวสด

เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟเครื่องทำแห้งแบบโฟม-แมทเครื่องทำแห้งแบบพ่นไฝเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนและเครื่องทำแห้งแบบระเหิดถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยปรับสภาวะในการทำแห้งให้เหมาะสมกับเครื่องทำแห้งแต่ละชนิดปัจจัยที่ศึกษาสำหรับเครื่องทำแห้งแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 1

Vuong, Dueker and Murphy (2002) รายงานว่าเนื้อฟักข้าวแห้งมีความคงตัวที่ปริมาณความชื้น 0.064 กิโลกรัมน้ำ/กิโลกรัมของแข็งดังนั้นจึงเลือกค่านี้เป็นค่าปริมาณความชื้นสุดท้ายเวลาการทำแห้งคำนวณจากเวลาที่เริ่มต้นกระบวนการ

ทำแห้งจนกระทั่งปริมาณความชื้นของตัวอย่างเท่าหรือน้อยกว่า 0.064 กิโลกรัม น้ำ/กิโลกรัมของแข็งอุณหภูมิการทำแห้งถูกรักษาไว้ที่ 60 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าเนื่องจากเนื้อฟักข้าวประกอบด้วยคาร์บอนอยู่ในปริมาณสูงและไขมันประมาณร้อยละ 10

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ศึกษาสำหรับการทำแห้งแต่ละประเภท

การทำแห้ง	ปัจจัยที่ศึกษา
แบบลมร้อน	อุณหภูมิในการทำแห้ง : 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส
แบบไมโครเวฟ	พลังงานไมโครเวฟ
	ความดันบรรยากาศ
แบบโฟม-แมท	อุณหภูมิในการทำแห้ง : 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส
	ชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม
แบบพ่นฟอย	อุณหภูมิในการทำแห้ง : 120, 150 และ 170 องศาเซลเซียส
	ชนิดของสารตัวพาและปริมาณการใช้งาน
แบบระเหิด	ระดับสุญญากาศ
	อุณหภูมิในการทำแห้ง

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (hot air drier) คาดใส่ตัวอย่าง (25.4×37 เซนติเมตร) ถูกวางตรงกลางระหว่างเครื่องทำความร้อนอุณหภูมิในการทำแห้งตั้งไว้ที่ 60 – 80 องศาเซลเซียสและความเร็วลมที่ 1.5 เมตร/วินาทีโดยมีพัดลมช่วยในการหมุนเวียนของอากาศรอบภายในเครื่องทำแห้งซึ่งจะช่วยให้การถ่ายเทมวลของน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟ (microwave drier) น้ำฟักข้าวที่สกัดได้จากข้าว (2) จะถูกนำไปให้ความร้อนในเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟโดยเลือกใช้อุณหภูมิระยะเวลาและพลังงานไมโครเวฟที่เหมาะสมเครื่องไมโครเวฟที่ใช้มีขนาดความจุสูง \times กว้าง \times สูง = 224 มม. \times 412 มม \times 426 มม. ทำงานที่ความถี่ 2450 MHz

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบโฟม-แมท (foam-mat drier) น้ำฟักข้าวที่สกัดได้จากข้าว (2) จะถูกนำไปปั่นผสมกับสารทำให้เกิดโฟมแต่ละชนิดคือเมทิลเชลูลอสและมอนโตเด็กซ์ตринความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักของน้ำฟักข้าวที่สกัดได้) นำเข้าเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid, Model K5SS, USA.) เพื่อตีให้เกิดโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่มีความคงตัวนาน 20 นาทีนำเข้าอบแห้งที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียสจนได้ผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่มีปริมาณ

ความชื้นตามต้องการจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 Mesh

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยน้ำฟักข้าวที่สกัดได้จากข้าว (2) จะถูกนำมาทำแห้งโดยใช้ Lab spray dryer (Buchi, B-290, Japan) ตั้งอุณหภูมิขาเข้าเท่ากับ 120, 150 และ 170°C, aspiration 100%, pump 25%, ค่า Q flow 30 – 40

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดน้ำฟักข้าวที่สกัดได้จากข้าว (2) จะถูกนำไปแข่ยอกแข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียสสูญญากาศ 0.045 mbar จนตัวอย่างแห้ง (อาจใช้เวลา 12 – 18 ชั่วโมง)

หลังจากกระบวนการทำแห้งผงฟักข้าวจะถูกเก็บในถุงลามิเนทที่สามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของแสงและออกซิเจนเพื่อกีบรักษาผลิตภัณฑ์

(4) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างฟักข้าวโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักที่คงที่บันทึกผล

(5) การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w)

วิเคราะห์ค่า a_w โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ water activity (AquaLab Pawkit, Decagon Devices, USA) ทำการทดลอง 3 ชั้าที่ 25 องศาเซลเซียส

(6) การวัดค่า pH

วิเคราะห์ค่า pH ของตัวอย่างฟักข้าวผงโดยการปั่นผสมฟักข้าวผง 5 กรัมในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรที่ 20 องศาเซลเซียสนำมารวัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH ที่ปรับมาตรฐานกับบัฟเฟอร์ pH 4 และ pH 7

(7) การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านสี (colour characteristics)

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างผงฟักข้าวโดยใช้ Minolta Chroma Meter ที่ปรับมาตรฐานด้วย white standard tile ผลที่ได้จะแสดงในรูป L^* , a^* และ b^* เมื่อ L^* แสดงความสว่าง (lightness) a^* แสดงสีแดงและสีเขียวและ b^* แสดงสีเหลืองและสีน้ำเงินก่อนการวัดตัวอย่างผงฟักข้าวจะถูกบรรจุใน polyethylene pouch และวัดค่าทำการทดลอง 3 ชั้า

(8) การวิเคราะห์ water solubility index (WSI)

วิเคราะห์ค่า WSI ของฟักข้าวผงโดยใช้วิธีของ Anderson et al. (1969) ผงฟักข้าวแห้ง (2.5 กรัม) และน้ำกลั่น (30 มิลลิลิตร) ถูกผสมให้เข้ากันอย่างรุนแรงในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยงขนาด 100 มิลลิลิตรนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีและหมุนเหวี่ยงที่ 10000 rpm (11410 g) เป็นเวลา 20 นาทีในเครื่องหมุนเหวี่ยงเก็บ supernatant ในบิกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียสค่า WST (%)

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของ supernatant แห้งต่อน้ำหนักของตัวอย่างตั้งต้น 2.5 กรัมลงพิกข้าว

(9) การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นก่อนอัด (Bulk density)

วิเคราะห์ค่า bulk density (กรัม/มิลลิลิตร) โดยการเติมผงพิกข้าว 5 กรัมลงในระบบอุ่นตัวขนาด 25 มิลลิลิตรและตัวอย่างจะถูกเคาะโดยการยกและปล่อยให้ระบบท่อตัวภายในได้เร็วโน้มถ่วงในระยะความสูง 14 ± 2 มิลลิเมตรจนกระทั่งได้ปริมาตรที่คงที่ค่ามวล (m) และปริมาตรที่สังเกตได้ (V) ของผลิตภัณฑ์พิกข้าวผงจะถูกนำมาคำนวณค่าความหนาแน่นก่อนอัดตาม m/V (kg/m^3) การทดลองทำที่อุณหภูมิห้องและทำการทดลอง 3 ชั้้ (Goula et al., 2004)

(10) การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน

วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนตามวิธี Kimura method (Nagata & Yamashita, 1992) ตัวอย่างพิกข้าว (1 กรัม) ถูกนำมาสกัดด้วยสารละลายผสม Acetone:Hexane (4:6) ปริมาตร 10 มิลลิลิตรโดยการเขย่าอย่างรุนแรงเป็นเวลา 1 นาทีหลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายส่วนใส (supernatant) ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer (Double beam, Perkin Elmer Instruments, Lambda 25 UV/VIS Spectrometer) ที่ความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 nm คำนวนปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนตามสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

Lycopene (mg/100 g fresh weight; FW)

$$= -0.0458 A_{663} + 0.204 A_{645} + 0.372 A_{505} - 0.0806 A_{453} \quad (1)$$

β -Carotene (mg/100 g fresh weight; FW)

$$= 0.216 A_{663} - 1.22 A_{645} - 0.304 A_{505} + 0.452 A_{453} \quad (2)$$

เมื่อ A_{663} , A_{645} , A_{505} และ A_{453} เป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 ตามลำดับ

(11) DPPH radical-scavenging assay (Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, 1995)

ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดพิกข้าวในเอรานอล 3 มิลลิลิตรถูกนำมาผสมกับสารละลายเอรานอลที่ประกอบด้วย DPPH radicals (200 μM) ปริมาตร 3 มิลลิลิตรส่วนผสมจะถูกเขย่าอย่างรุนแรงและปล่อยให้ทำปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง (จนกระทั่งได้ค่าการดูดกลืนแสงที่คงที่) การลดลงของ DPPH radical ถูกวิเคราะห์โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm ค่า radical scavenging activity (RSA) ถูกคำนวณเป็นร้อยละของ DPPH discoloration โดยใช้สมการ (3)

$$\% \text{ RSA} = [(A_{\text{DPPH}} - A_s)/A_{\text{DPPH}}] \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ A_T เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำอิสระสกัดตัวอย่างถูกเติมในระดับที่เท่ากัน และ A_{DPPH} เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำ DPPH

สร้างกราฟมาตราฐานของ Trolox โดยปีเปต Trolox 1000 µg/ml stock solution มา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตรด้วยเอทานอลจะได้ความเข้มข้นเป็น 50, 100, 200 และ 300 µg/ml ตามลำดับแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตราฐานของ Trolox โดยให้แกน x เป็นค่าความเข้มข้นของ Trolox และแกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสงนำค่าการดูดกลืนแสงของมาเทียบกราฟมาตราฐานรายงานผลเป็นมูล Trolox equivalents (TE)/g gramm ตัวอย่าง

4.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผลพักข้าวที่ใช้ในการทดลองเป็นผลพักข้าวที่มีความสุกเต็มที่ผลมีสีแดงปุกคุณมากกว่า 2/3 ของผิว

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการวิจัยเป็นเครื่องทำแห้งนวัตกรรมใหม่ได้แก่ เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟ เครื่องทำแห้งแบบไฟฟ้า-ลม และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยท์ศูนย์ความเป็นเลิศด้านพลาสม่า อาคารนวัตกรรมและศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

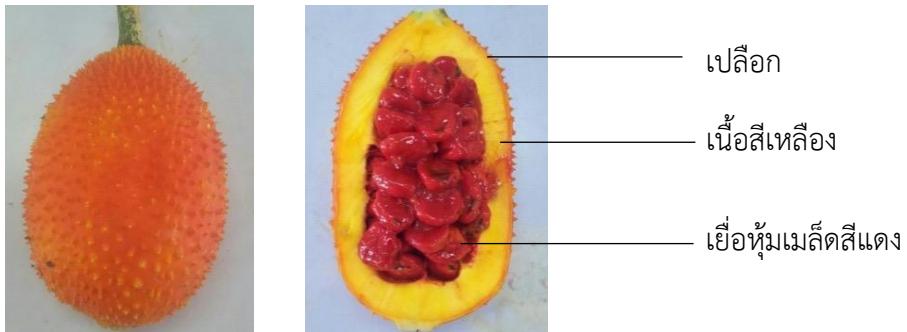
การทดลองทำ 3 ชั้นวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ผลการทดลองแสดงโดยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) โดยใช้ SPSS software version 19.0

5. ผลการวิจัย (Outputs)

5.1 คุณลักษณะของผลพักข้าว

พักข้าวประกอบด้วยส่วนของเปลือกเนื้อสีเหลืองเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีแดงและเมล็ดดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีสัดส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดร้อยละ 16 (ตารางที่ 1) เมื่อนำส่วนของเนื้อสีเหลืองและเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีแดงมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพเคมีและจุลทรรศน์พบว่าเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวมีส่วนประกอบมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าส่วนเนื้อสีเหลืองมากโดยมีส่วนประกอบของโปรตีนไขมันไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนสูงกว่า (ตารางที่ 2) ปริมาณไขมันในเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวที่สูงถึงร้อยละ 6.9 เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวมีไลโคปีน 8.47 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักสดสองครั้งกับผลการทดลองของภิญญาภูมิสายตอนและมนต์พิทย์ช่อง (2554) ซึ่งรายงานว่าเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวสีแดงประกอบด้วยไลโคปีน 0.11 - 8.99 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสดส่วนเนื้อสีเหลืองของพักข้าวมีไลโคปีนเป็นองค์ประกอบน้อยมากประมาณ 0.03 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสดสองครั้งกับผลการทดลองของ Ishida et al. (2004) ที่รายงานว่าเนื้อส่วนสีเหลืองของพักข้าวไม่มีไลโคปีนเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวสีแดงมีเบต้าแคโรทีน 3.81 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสดเนื้อส่วนสีเหลืองมีปริมาณเบต้าแคโรทีนน้อยมากสองครั้งกับรายงานของ

Ishida et al. (2004) ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวอาจแปรผันได้ขึ้นกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวและพื้นที่ปลูก夷อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีค่า antioxidant activity 3794,75 μg TE/100 กรัมน้ำหนักสด สำหรับคุณภาพทางด้านปริมาณเชื้อจุลินทรีย์นั้นพบว่าส่วนเนื้อสีเหลืองและเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และยีสต์รวมกันลดลงถึง 0% ของปริมาณเดิมในช่วงฤดูหนาวของ Ingnuna (2013)



รูปที่ 1 ผลฟักข้าวและลักษณะเยื่อหุ้มเมล็ด

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของฟักข้าวสด

ฟักข้าว	น้ำหนักผลสด (g)	(%)
ผล (Whole fruit)	836 ± 160	100
เปลือก (Skin)	108 ± 12	14
เนื้อสีเหลือง (Yellow pulp)	510 ± 59	53
เยื่อหุ้มเมล็ด (Aril)	148 ± 26	16
เมล็ด (Seeds)	200 ± 45	17

5.2 การทำแห้ง夷อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอย

夷อหุ้มเมล็ดฟักข้าวถูกนำมาปั่นผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 5 แล้วนำมารองผ่านการตะแกรงขนาด 100 Mesh ก่อนนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิขาเข้า 120, 150 และ 170 องศาเซลเซียสเพื่อให้夷อหุ้มเมล็ดฟักข้าวคงสภาพเดิม ไม่เสียหาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกเก็บรักษาในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เพื่อป้องกันการผ่านเข้าออกของอากาศและแสงซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพเคมีและจุลินทรีย์ของ夷อหุ้มเมล็ดฟักข้าวคงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยที่ อุณหภูมิต่างๆแสดงในตารางที่ 3 อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นปริมาณน้ำอิสระค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ปริมาณไลโคปีนเบต้าแคโรทีน Antioxidant activity ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราคุณลักษณะของ夷อหุ้มเมล็ดฟักข้าวคงแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางกายภาพเคมีและจุลินทรีย์ของ夷อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

ค่าสี	คุณลักษณะ	เนื้อสีเหลือง	เยื่อหุ้มเมล็ด
ทางกายภาพ			
Lightness (L^*)	46.86 ± 0.04	24.19 ± 0.18	
Redness (a^*)	15.40 ± 0.09	39.88 ± 0.39	

Yellowness (<i>b</i> *)	42.15 ± 0.33	26.28 ± 0.21
ปริมาณความชื้น (%)	95.38 ± 0.40	85.57 ± 0.16
ปริมาณความชื้นอิสระ (<i>a_w</i>)	0.98 ± 0.01	0.97 ± 0.01
ทางเคมี		
โปรตีน (%)	0.37 ± 0.05	1.95 ± 0.02
ไขมัน (%)	0.25 ± 0.01	6.92 ± 0.03
เกล้า (%)	0.78 ± 0.01	0.80 ± 0.02
ไฟเบอร์ (%)	0.53 ± 0.07	0.83 ± 0.08
คาร์โบไฮเดรท (%)	2.69 ± 0.32	3.93 ± 0.19
ความเป็นกรด	2.03 ± 0.00	2.92 ± 0.11
pH	6.19 ± 0.42	5.34 ± 0.30
Lycopene (mg/100 g FW)	0.03 ± 0.01	8.47 ± 0.54
β -Carotene (mg/100 g FW)	0.34 ± 0.08	3.81 ± 0.14
Antioxidant activity ($\mu\text{g TE/g FW}$)	565.00 ± 14.43	3028.75 ± 1.44
ทางจุลินทรีย์		
จุลินทรีย์ทั่วไป (<i>CFU/g</i>)	1.9×10^6	1.7×10^6
ยีสต์และรา (<i>CFU/g</i>)	1.8×10^6	1.9×10^6

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของฟักข้าวผงที่ผลิตโดยใช้เครื่องดีม์ทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิการทำแห้ง 120, 150 และ 170 องศาเซลเซียส

คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี	อุณหภูมิทำแห้ง		
	120°C	150°C	170°C
ทางกายภาพ			
ปริมาณความชื้น (%)	5.22 ± 0.26 ^a	4.72 ± 0.17 ^b	4.39 ± 0.14 ^b
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.588 ± 0.01 ^a	0.551 ± 0.01 ^b	0.424 ± 0.01 ^c
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	37.50 ± 0.47 ^a	37.56 ± 0.51 ^a	37.60 ± 0.50 ^a
ค่าความหนาแน่นก้อนอัด (g/ml)	0.78 ± 0.02 ^a	0.75 ± 0.03 ^a	0.76 ± 0.01 ^a
ค่าสี			
Lightness (L^*)	38.20 ± 0.33 ^a	48.40 ± 0.11 ^b	51.55 ± 0.07 ^c
Redness (a^*)	33.76 ± 0.11 ^a	32.71 ± 0.14 ^b	30.14 ± 0.10 ^c
Yellowness (b^*)	28.98 ± 0.44 ^a	40.20 ± 0.29 ^b	43.62 ± 0.19 ^c
ทางเคมี			
pH	4.70 ± 0.06 ^a	4.68 ± 0.01 ^a	4.70 ± 0.03 ^a
Lycopene (mg/100 g powder)	0.98 ± 0.00 ^b	0.98 ± 0.01 ^b	1.32 ± 0.03 ^a
β -carotene (mg/100 g powder)	0.34 ± 0.01 ^b	0.33 ± 0.01 ^b	0.93 ± 0.01 ^a
Antioxidant activity (μ g TE/g powder)	2758.33 ± 1.44 ^c	2797.50 ± 2.50 ^b	2808.33 ± 3.82 ^a
ทางจุลทรรศ์			
Total plate count (CFU/g)	2.4×10^4	1.6×10^4	1.2×10^4
Yeast and mold count (CFU/g)	2.6×10^4	1.7×10^4	1.9×10^4

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแต่ละค่าเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



120°C

150°C

170°C

รูปที่ 2 เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฟอยเพิ่มสูงขึ้นจาก 120 องศาเซลเซียสเป็น 170 องศาเซลเซียส อัตราการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้น้ำในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระเหยออกได้อย่างรวดเร็วอัตราการทำแห้งเร็วขึ้นผลิตภัณฑ์คงจะมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลงผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานการการทำแห้งฟักข้าวผง (Kha, Nguyen & Roach, 2011) และเชือเทศผง (Goula, Adamopoulos & Kazakin, 2004) และแครอทม่วงผง (Ersus & Yurdagel, 2007) ซึ่งระบุว่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้ง

ปริมาณความชื้นอิสระ (a_w) เป็นปัจจัยสำคัญมีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์คงค่า a_w ที่สูงในผลิตภัณฑ์จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากมีปริมาณน้ำอิสระสูงสำหรับการเสื่อมเสียทางชีวเคมีการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ผงจากเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีสามารถป้องกันได้ที่ค่าต่ำกว่า 0.6 (Vbung, Dueker, & Murphy, 2002) ในการทำลองนี้พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลกระทบต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฟอยจะทำให้ค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงลดลงซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทำลองของ Quek, Chok and Swedlund (2007) ที่ระบุว่าอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฟอยแต่งโม่งไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฟอยที่เพิ่มขึ้นจาก 145 องศาเซลเซียสเป็น 175 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการทำแห้งไม่มีผลต่อค่า pH ของฟักข้าวผงสอดคล้องกับรายงานผลของสารสกัดกระเจี๊ยบผงที่ระบุว่าอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฟอยไม่มีผลต่อค่า pH ของสารสกัดกระเจี๊ยบผง (Gonzalez-Palomares, Estarron-Espinosa, Gomez-Leyva, & Andrade-Gonzalez, 2009)

สีเป็นคุณสมบัติทางด้านประสิทธิภาพที่สำคัญและได้รับผลกระทบจากการทำแห้ง (Abadio et al., 2004) อุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฟอยมีผลต่อคุณลักษณะทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ ผงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นค่า L* ซึ่งแสดงค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นค่า a* ซึ่งแสดงสีแดงมีค่าลดลงและค่า b* ซึ่งแสดงค่าสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น

เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฟอยที่ 120 - 150 องศาเซลเซียสมีปริมาณไลโคปีนเบต้าแคโรทีนและ Antioxidant activity ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฟอยที่ 170 องศาเซลเซียสส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีปริมาณไลโคปีนเบต้าแคโรทีนและ Antioxidant activity สูงกว่าการทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิ 120 - 150 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือมีปริมาณไลโคปีน 1.32 มิลลิกรัม/100 กรัมผลิตภัณฑ์ผงเบต้าแคโรทีน 0.93 มิลลิกรัม/100 กรัมผลิตภัณฑ์ผงและมีค่า Antioxidant activity 2808.33 μg Trolox/g ผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 - 150 องศาเซลเซียสมีปริมาณไลโคปีน 0.98 มิลลิกรัม/100 กรัมผลิตภัณฑ์ผงเบต้าแคโรทีน 0.33 - 0.34 มิลลิกรัม/100 กรัมผลิตภัณฑ์ผงและ Antioxidant activity 2758 - 2797 μg TE/g รายงานการวิจัยระบุว่าร่างกายสามารถดูดซับค่าโรทีนอยู่ที่ผ่านกระบวนการความร้อนสูงในระบบย่อยอาหารได้ดีกว่าการบริโภคสด 2.5 เท่า

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฟอยมีผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงอุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงถึง 120 - 170 องศาเซลเซียสทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับการทดลองนี้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรากของผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิ 120 - 170 องศาเซลเซียสมีค่า 1.2 - 2.4 $\times 10^4$ CFU/g และ 1.7 - 2.6 $\times 10^4$ CFU/g ตามลำดับ

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิ 120 - 170 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพในการทำแห้งค่อนข้างต่ำและปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ค่อนข้างน้อยจึงนิยมใช้สารตัวพา (drying carrier) เป็นตัวช่วยในการทำแห้งสารตัวพาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่มอลโตเด็กซ์ตрин (maltodextrin) ซึ่งสามารถใช้เป็นสารตัวพาหรือสารห่อหุ้ม (encapsulating agent) เพื่อช่วยปรับปรุงกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฟอยและช่วยเพิ่มความคงตัวของคาโรทีนอยด์การเติมมอลโตเด็กซ์ตринก่อนการทำแห้งแบบพ่นฟอยมีประสิทธิภาพในการรักษาคาโรทีนอยด์ เช่นเบต้าแคโรทีน (Dessbry, Netto, & Labuza, 1997; Wager & Warthesen, 1995) มอลโตเด็กซ์ตринมีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่าย

สำหรับการทดลองนี้ใช้การทำแห้งแบบพ่นฟอยสารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดฟักขาวที่อุณหภูมิในการแห้ง 170 องศาเซลเซียสมีปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринร้อยละ 10, 20 และ 30 พบร่วมปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ฟักขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 มอลโตเด็กซ์ตринลดคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น (moisture absorption properties) ของผลิตภัณฑ์จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีปริมาณความชื้นลดลงสอดคล้องกับรายงานผลการทดลองของมันเทศสง (Grabowski, Truong, & Daubert, 2006) และน้ำสีปะรดแดง (Abadio, Domingues, Borges & Oliveira, 2004) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринทำให้ปริมาณของแข็งในวัตถุดิบก่อนข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฟอยเพิ่มสูงขึ้นดังนั้นจึงลดปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออก การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринลงในสารสกัดฟักขาวก่อนการทำแห้งส่งผลให้ค่า a_w ลดลงตามปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринที่เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 4) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่า L^* ซึ่งแสดงค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น a^* ซึ่งแสดงค่าสีแดงมีค่าลดลง b^* ซึ่งแสดงค่าสีเหลืองมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 3

การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринในสารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดฟักขาวก่อนการทำแห้งแบบพ่นฟอยส่งผลให้ปริมาณไลโคปีนเบต้าแคโรทีนและ Antioxidant activity ของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักขาวผงมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิการทำแห้ง 170 องศาเซลเซียสและ การเติมมอลโตเด็กซ์ตринร้อยละ 10 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักขาวผงมีปริมาณไลโคปีนเบต้าแคโรทีนและ Antioxidant activity ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักขาวผงที่ไม่มีการเติมมอลโตเด็กซ์ตрин (ตารางที่ 3) และการเติมมอลโตเด็กซ์ตринไม่มีผลกระทบต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และรากตั้งนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักขาวด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยคืออุณหภูมิในการทำแห้ง 170 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตринร้อยละ 10

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยล์อุณหภูมิขาเข้า 170 องศาเซลเซียสและใช้มอลโตเด็กตรินซ์เป็นสารตัวพา

ลักษณะทางกายภาพเคมี	อัตราส่วนมอลโตเด็กตรินซ์ (%)		
	10	20	30
ทางกายภาพ			
ปริมาณความชื้น (%)	4.77 ± 0.07 ^a	4.47 ± 0.36 ^b	4.25 ± 0.05 ^b
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.464 ± 0.02 ^a	0.437 ± 0.05 ^b	0.396 ± 0.02 ^c
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	37.71 ± 0.75 ^a	37.78 ± 0.67 ^a	37.85 ± 0.63 ^a
ค่าความหนาแน่นก่อนอัด (g/ml)	0.70 ± 0.02 ^a	0.71 ± 0.02 ^a	0.74 ± 0.03 ^a
ค่าสี			
Lightness (L^*)	76.79 ± 0.24 ^a	80.44 ± 0.25 ^b	82.58 ± 0.01 ^c
Redness (a^*)	17.34 ± 0.38 ^a	14.25 ± 0.16 ^b	11.54 ± 0.10 ^c
Yellowness (b^*)	27.49 ± 0.52 ^a	22.05 ± 0.36 ^b	19.57 ± 0.34 ^c
ทางเคมี			
pH	4.15 ± 0.01 ^a	4.14 ± 0.02 ^a	4.16 ± 0.04 ^a
Lycopene (mg/100 g powder)	1.17 ± 0.03 ^a	0.89 ± 0.00 ^b	0.48 ± 0.01 ^c
β -Carotene (mg/100 g powder)	0.79 ± 0.13 ^a	0.47 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.03 ^c
Antioxidant activity ($\mu\text{g TE/g powder}$)	2998.33 ± 1.44 ^a	2970.00 ± 2.50 ^b	2845.83 ± 2.89 ^c
ทางจุลทรรศ์			
Total plate count (CFU/g)	2.8×10^4	1.7×10^4	2.0×10^4
Yeast and mold count (CFU/g)	1.7×10^4	1.9×10^4	1.9×10^4

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



10%

20%

30%

รูปที่ 3 คุณลักษณะเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่เติมมอลโตเด็กตรินซ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิการทำแห้ง 170 องศาเซลเซียส

5.3 การทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟ

การทำแห้งแบบไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 65W ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเนื่องจากกระบวนการใช้เวลาที่นานมากกว่า 24 ชั่วโมงและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะซึ่นไม่แห้งผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีสีเข้มทั้งนี้เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีไขมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง

5.4 การทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยเครื่องทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็งอาศัยหลักการระเหิดของน้ำแข็งออกจากผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้งกระบวนการนี้มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเนื่องจากกระบวนการมีค่าใช้จ่ายสูงกระบวนการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวทำโดยการนำตัวอย่างมาแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยตู้แช่แข็งหลังจากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแข็งแข็ง Lab freeze drier (Christ ALPHA 2-4 LSC) กระบวนการทำแห้งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเครื่องทำความเย็น -80 องศาเซลเซียสความดันสูญญากาศ 0.045 mbar absolute เป็นเวลา 72 ชั่วโมงจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ฟักข้าวแห้งจากนั้นนำมาระดับให้ละเอียดแล้วเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดสนิทนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวลงที่ได้มารวบรวมหัวคุณลักษณะทางกายภาพเคมีและจุลินทรีย์และวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5 คุณลักษณะทางด้านสีของผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแสดงในรูปที่ 4

เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็งมีปริมาณน้ำอิสระต่ำประมาณ 0.275 และมีค่าความหนาแน่นก่อนอัดต่ำประมาณ 0.36 กรัม/มิลลิลิตรสอดคล้องกับผลการทดลองของ Koc, Eren, & Ertkin (2008) การทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็งอยู่บนพื้นฐานของการระเหิดของน้ำแข็งจึงสามารถช่วยรักษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ลงไว้ได้เป็นอย่างดีผลิตภัณฑ์ลงมีปริมาณน้ำน้อยดังนั้นการเสื่อมเสียและปฏิกิริยาของเชื้อจุลินทรีย์จึงเกิดน้อยลงอย่างไรกระบวนการการทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็งนี้มีค่าใช้จ่ายสูงจึงเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดความเสียหายได้ยากเนื่องจากความร้อน



รูปที่ 4 คุณลักษณะเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวลงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแซ่เบื้องหนึ่งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

คุณลักษณะ	อุณหภูมิในการทำแห้ง -80 °C
ทางกายภาพ	
ปริมาณความชื้น (%)	5.36 ± 0.27
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.275 ± 0.06
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	34.77 ± 0.03
ค่าความหนาแน่นก่อนอัด (g/ml)	0.36 ± 0.60
ค่าสี	
Lightness (L^*)	36.40 ± 0.34
Redness (a^*)	30.08 ± 0.10
Yellowness (b^*)	19.10 ± 0.83
ทางเคมี	
pH	4.10 ± 0.01
Lycopene (mg/100 g powder)	1.13 ± 0.12
β -Carotene (mg/100 g powder)	0.96 ± 0.13
Antioxidant activity ($\mu\text{g TE/g powder}$)	2788.67 ± 1.44
ทางจุลทรรศ์	
Total plate count (CFU/g)	2.0×10^3
Yeast and mold count (CFU/g)	1.2×10^3

5.5 การทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (hot air drier)

การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากกระบวนการมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำอย่างไรก็ตามกระบวนการทำแห้งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และอาจส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ลงสำหรับการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวนั้นใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียสความเร็วลม 1.1 ± 0.1 เมตร/วินาทีสารสกัดเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวจะถูกนำมาระบบลมร้อนที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วของลมจนได้ผลิตภัณฑ์แห้งจึงนำมาบรรจุภาชนะปิดสนิทเก็บไว้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพเคมีและจุลทรรศ์ในขั้นตอนต่อไปผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงในตารางที่ 6 และคุณลักษณะทางด้านสีแสดงในรูปที่ 5

ตารางที่ 6 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของฟักข้าวผงที่ผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิทำแห้ง		
	60°C	70°C	80°C
ทางกายภาพ			
ปริมาณความชื้น (%)	12.60 ± 0.45 ^a	10.44 ± 0.34 ^b	9.63 ± 0.93 ^b
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.684 ± 0.01 ^a	0.521 ± 0.01 ^b	0.529 ± 0.01 ^c
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	30.44 ± 0.12 ^a	30.32 ± 0.07 ^a	30.36 ± 0.08 ^a
ค่าความหนาแน่นก่อนอัด (g/ml)	0.29 ± 0.02 ^a	0.28 ± 0.01 ^a	0.24 ± 0.01 ^b
ค่าสี			
Lightness (L^*)	24.38 ± 0.05 ^a	23.28 ± 0.06 ^b	21.01 ± 0.08 ^c
Redness (a^*)	36.84 ± 0.14 ^a	34.59 ± 0.10 ^b	30.64 ± 0.06 ^c
Yellowness (b^*)	20.90 ± 0.43 ^a	20.42 ± 0.09 ^b	17.87 ± 0.41 ^c
ทางเคมี			
pH	4.51 ± 0.01 ^a	4.54 ± 0.04 ^a	4.52 ± 0.03 ^a
Lycopene (mg/100 g powder)	1.10 ± 0.01 ^a	1.07 ± 0.02 ^b	1.05 ± 0.01 ^c
β -carotene (mg/100 g powder)	0.38 ± 0.02 ^a	0.35 ± 0.01 ^b	0.33 ± 0.02 ^c
Antioxidant activity ($\mu\text{g TE/g powder}$)	2592.50 ± 4.33 ^c	2644.17 ± 2.89 ^b	2699.17 ± 1.44 ^a
ทางจุลทรรศ์			
Total plate count (CFU/g)	2.8×10^4	2.6×10^4	2.4×10^4
Yeast and mold count (CFU/g)	2.3×10^4	2.1×10^4	2.2×10^4

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแต่เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 5 คุณลักษณะเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิในการทำแห้งมีผลกระทบต่อกุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นปริมาณความชื้นปริมาณน้ำอิสระค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการทำแห้งแบบลมร้อนไม่มีผลกระทบต่อดัชนีการละลายน้ำค่าความหนาแน่นก่อนอัด และ pH ของผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงสอดคล้องกับรายงานผลการทดลองของ Gonzalez-Palomares, Estarron-Espinasa, Gomez-Leyva & Andrade-Gonzalez, 2009 ที่ระบุว่าค่า pH ของสารสกัดกระเจี๊ยบไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการทำแห้งปริมาณเชื้อจุลทรรศ์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $2.4 - 2.8 \times 10^4$ และปริมาณยีสต์และรา้อยู่ในช่วง $2.1 - 2.3 \times 10^4$ ผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนมีปริมาณความชื้นสูงกว่าประมาณร้อยละ 9.63 ซึ่งสูงกว่าปริมาณความชื้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งประเภทอื่นปริมาณความชื้นที่สูงนี้จะส่งผลให้เกิดกิจกรรมของเชื้อจุลทรรศ์ได้อย่างรวดเร็วสำหรับการทำแห้งผลทางการเกษตรโดยทั่วไปจะยุติเมื่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 6 (น้ำหนักฐานเปียก) สำหรับการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแบบลมร้อนนั้นใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมงการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลง

5.6 การทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแบบโฟม-แมท (Foam-mat drying)

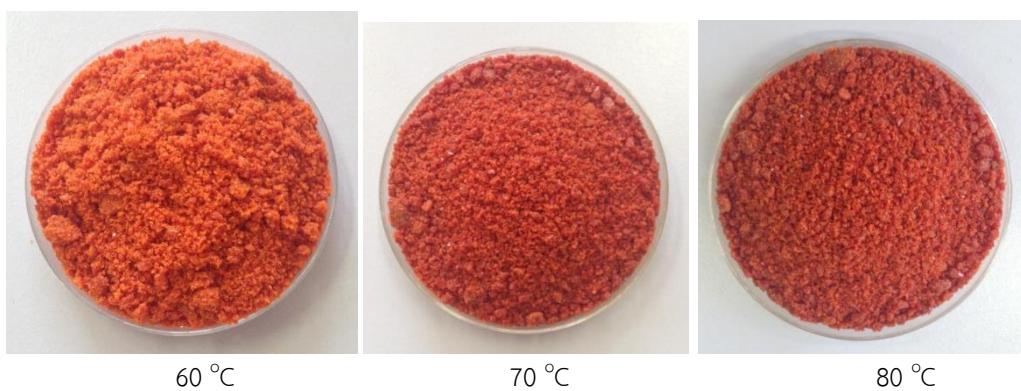
เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวถูกนำมาทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมทโดยใช้มอลโตเต็กซ์ตรินและคาร์บอคิลเมธิลเซลลูโลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 1.5 ตามลำดับเป็นสารทำให้เกิดโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่สกัดได้จะถูกนำมาปั่นผสมกับสารทำให้เกิดโฟมในเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid, Model K5SS, USA) เพื่อตีให้เกิดโฟมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่มีความคงตัวนาน 20 นาทีจากนั้นเทใส่ถาดสแตนแลสนำเข้าอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียสนำเข้าอบแห้งจนผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงมีปริมาณความชื้นตามต้องการจึงนำผลิตภัณฑ์มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 Mesh ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ทำแห้งแบบโฟม-แมททางด้านกายภาพและเคมีแสดงในตารางที่ 7 และ 8 คุณลักษณะด้านสีแสดงในรูปที่ 6 และ 7

การทำแห้งแบบโฟม-แมทของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมีปริมาณความชื้นปริมาณน้ำอิสระ pH ค่า L^* ลดลงแต่ค่า a^* และ b^* ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้นโดยการใช้สารช่วยให้เกิดโฟมทั้งสองประเภทให้ผลในทำนองเดียวกันอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงจะพบว่าการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวแบบโฟม-แมทโดยใช้มอลโตเต็กซ์ตรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นสารทำให้เกิดโฟมอุณหภูมิในการทำแห้ง 80 องศาเซลเซียสให้คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าการใช้ส่วน率ในการทำแห้งอื่นๆ

ตารางที่ 7 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไฟฟ้า-แม่เหล็กโดยใช้มอตเตอร์เด็กซ์ตรินร้อยละ 10 เป็นสารทำให้เกิดไฟฟ้า

ลักษณะทางกายภาพเคมี	อุณหภูมิการทำแห้ง (°C)		
	60	70	80
ทางกายภาพ			
ปริมาณความชื้น (%)	10.79 ± 0.05 ^a	9.07 ± 0.03 ^b	5.23 ± 0.27 ^c
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.610 ± 0.01 ^a	0.560 ± 0.01 ^b	0.389 ± 0.01 ^c
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	45.18 ± 0.08 ^c	50.98 ± 0.58 ^a	47.10 ± 0.55 ^b
ค่าความหนาแน่นก่อนอัด (g/ml)	0.50 ± 0.01 ^c	0.60 ± 0.01 ^b	0.62 ± 0.01 ^a
ค่าสี			
Lightness (L^*)	35.34 ± 0.60 ^b	36.97 ± 0.70 ^a	30.92 ± 0.84 ^c
Redness (a^*)	33.33 ± 0.19 ^a	35.59 ± 0.48 ^b	33.42 ± 1.06 ^c
Yellowness (b^*)	33.34 ± 0.74 ^a	32.45 ± 0.33 ^b	26.11 ± 1.92 ^c
ทางเคมี			
pH	4.54 ± 0.01 ^a	4.17 ± 0.01 ^a	4.14 ± 0.01 ^a
Lycopene (mg/100 g powder)	0.47 ± 0.04 ^c	0.70 ± 0.01 ^b	0.87 ± 0.11 ^a
β -Carotene (mg/100 g powder)	0.25 ± 0.03 ^c	0.28 ± 0.00 ^b	0.30 ± 0.01 ^a
Antioxidant activity ($\mu\text{g TE/g powder}$)	2911.67 ± 2.89 ^c	2933.33 ± 1.44 ^b	2961.67 ± 1.44 ^a

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันใน同一列ได้วัดกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

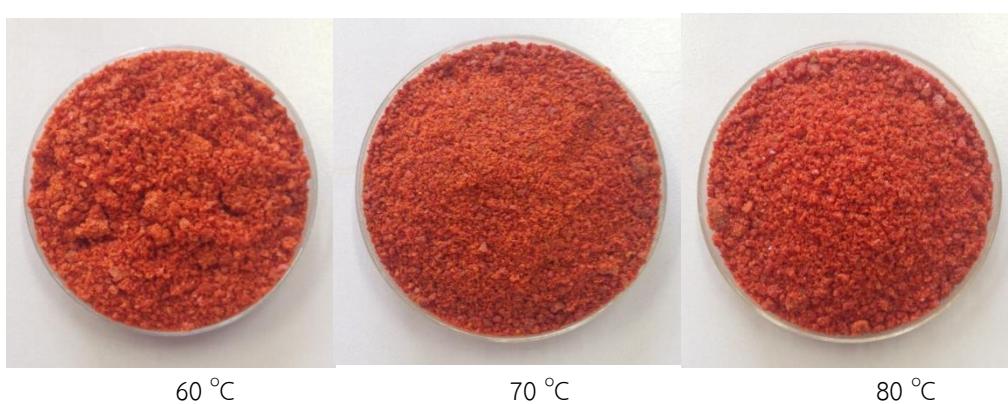


รูปที่ 6 เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งแบบไฟฟ้า-แม่เหล็กโดยใช้มอตเตอร์เด็กซ์ตรินร้อยละ 10 เป็นสารทำให้เกิดไฟฟ้าที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ตารางที่ 8 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่ทำแห้งการทำแห้งแบบไฟฟ์-แม่ที่ใช้คาร์บอซิเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1.5 เป็นสารทำให้เกิดโพลี

ลักษณะทางกายภาพเคมี	(อุณหภูมิทำแห้ง °C)		
	60	70	80
ทางกายภาพ			
ปริมาณความชื้น (%)	10.83 ± 0.21 ^a	8.15 ± 0.12 ^a	7.59 ± 0.04 ^a
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.537 ± 0.02 ^a	0.368 ± 0.00 ^b	0.363 ± 0.01 ^b
ดัชนีการละลายน้ำ (%)	42.33 ± 0.10 ^b	55.85 ± 0.05 ^a	42.75 ± 0.57 ^b
ค่าความหนาแน่นก่อนอัด (g/ml)	0.61 ± 0.01 ^a	0.56 ± 0.01 ^b	0.39 ± 0.01 ^c
ค่าสี			
Lightness (L^*)	31.75 ± 0.64 ^a	30.79 ± 0.67 ^b	25.40 ± 1.42 ^c
Redness (a^*)	33.69 ± 0.47 ^a	31.17 ± 0.73 ^b	26.79 ± 0.99 ^c
Yellowness (b^*)	27.64 ± 0.36 ^a	26.33 ± 0.50 ^b	18.03 ± 1.04 ^c
ทางเคมี			
pH	5.33 ± 0.01 ^a	4.55 ± 0.01 ^b	4.54 ± 0.01 ^b
Lycopene (mg/100 g powder)	0.72 ± 0.01 ^c	0.74 ± 0.00 ^b	0.76 ± 0.00 ^a
β -carotene (mg/100 g powder)	0.22 ± 0.01 ^c	0.25 ± 0.05 ^b	0.30 ± 0.00 ^a
Antioxidant activity ($\mu\text{g TE/g powder}$)	2923.33 ± 3.82 ^c	2945.83 ± 1.44 ^b	2960.83 ± 1.44 ^a

หมายเหตุ คุณลักษณะที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันใน同一列เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 7 เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งแบบไฟฟ์-แม่โดยใช้คาร์บอซิเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 10 เป็นสารทำให้เกิดโพลีที่อุณหภูมิการทำแห้งแตกต่างกัน

การทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยใช้กรรมวิธิการทำแห้งที่แตกต่างกันนั้นพบว่าเครื่องทำแห้งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ต้องการนำมาทำแห้ง สำหรับเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวนั้นมีส่วนประกอบที่เป็นไขมันในปริมาณสูงทำให้การทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยหรือเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนไม่มีประสิทธิภาพกระบวนการใช้เวลานานและผลิตภัณฑ์คงมีลักษณะไม่แห้งจำเป็นต้องใช้สารช่วยในการทำแห้งเช่นนอลโตเด็กซ์ตริน (สารตัวพา) หรือสารบอกรซิลเมทิลเซลลูโลส (สารทำให้เกิดโฟม) ในการทำแห้งแบบพ่นฟอยและการทำแห้งแบบลมร้อนนอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการกระบวนการผลิตด้วยเช่นกันพบว่าการทำแห้งแบบพ่นฟอยแข็งได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลลัพธ์ของการทำแห้งแต่ต้องใช้เวลาในการทำแห้งและสิ้นเปลืองพลังงานดังนั้นผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการจำเป็นต้องพิจารณาข้อจำกัดเหล่านี้ด้วยเช่นกันในการตัดสินใจเลือกกรรมวิธิในการประรูปผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงสำหรับโครงการวิจัยนี้พบว่าการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยการทำแห้งแบบพ่นฟอยโดยใช้นอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารตัวพาเป็นกระบวนการการทำแห้งที่ให้ผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่มีคุณภาพดี

5.7 การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงในอุตสาหกรรมอาหาร

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทดลองนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงมาเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวโพรไบโอติกพร้อมดื่มที่ผลิตจากน้ำนมแพะไขมันต่ำโดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิในการทำแห้ง 170 องศาเซลเซียสและใช้มอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 เป็นสารตัวพาพบว่าผลิตภัณฑ์ผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวโพรไบโอติกพร้อมดื่มที่ผลิตจากน้ำนมแพะไขมันต่ำได้เป็นอย่างดี และผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 บทเรียนข้อค้นพบ

6.1.1 ผลฟักข้าวเกิดการเสื่อมเสียได้จ่ายภายหลังการเก็บเกี่ยวยอดดับความแก่-อ่อนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวาระขั้นส่งและเก็บรักษาต่างกันมีผลต่อคุณภาพผลฟักข้าวเป็นอย่างมากและปริมาณสารสำคัญในฟักข้าวขึ้นอยู่กับระดับความแก่-อ่อนของผลฟักข้าว

6.1.2 โครงการวิจัยนี้ใช้เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเป็นวัตถุดิบทหลักจึงมีเนื้อฟักข้าวสีเหลืองและเปลือกฟักข้าวเป็นของเหลวจากการกระบวนการเป็นจำนวนมากเป็นปัญหาต่อการนำไปใช้จึงควรมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำส่วนที่เหลือจากการกระบวนการผลิตไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมซึ่งจะเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากฟักข้าว

6.1.3 การทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยเครื่องทำแห้งที่แตกต่างกันให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่แตกต่างกันทางด้านคุณลักษณะปราศจากไขมันและปริมาณไลโคปีนเบต้าแคโรทีนและAntioxidant activity

- เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟที่ทำงานในสภาวะความดันบรรยากาศปกติไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเนื่องจากในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีไขมันเป็นส่วนประกอบลักษณะผลิตภัณฑ์เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ได้จากการทำแห้งไมโครเวฟมีสีแดงเข้มไม่แห้งมีความมันและไม่เป็นผงจึงเหมาะสม

ที่จะนำมาสกัดน้ำมันจากเยื่อหุ้มเมล็ดเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปจึงควรมีการทดลองต่อยอดเพิ่มเติม

- เครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยสามารถนำมาใช้ในการผลิตเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวผงได้โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง (120, 150 และ 170 องศาเซลเซียส) มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในด้านปริมาณความชื้นปริมาณน้ำอิสระปริมาณผลผลิตสีและปริมาณสารสำคัญการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลงแต่ปริมาณสารสำคัญเพิ่มขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำแห้งจำเป็นต้องใช้สารตัวพาเข่นมอลโตเด็กซ์ตรินในเบื้องต้นพบว่าการใส่สารตัวพาในปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 ทำให้กระบวนการทำแห้งมีประสิทธิภาพมากขึ้นแต่สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปพบว่าการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฟอยที่อุณหภูมิขาเข้า 170 องศาเซลเซียสใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่ในปริมาณร้อยละ 10 ให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดี
- เครื่องทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็งสามารถนำมาใช้ในการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวได้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีลักษณะเบาเมื่อสีเข้มแตกต่างจากการทำแห้งแบบพ่นฟอยเป็นอย่างมากอย่างไรก็ตามการการทำแห้งแบบแข็งเยือกแข็งใช้เวลานาน (72 ชั่วโมง) และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงกว่าการทำแห้งแบบแข็งใช้เวลา 24 ชั่วโมง
- เครื่องทำแห้งแบบลมร้อนสามารถนำมาใช้ในการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงประมาณ 80 องศาเซลเซียสระยะเวลาการทำแห้งประมาณ 24 ชั่วโมงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มค่อนข้างชื้นและยังมีปริมาณความชื้นสูงไม่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผง
- การทำแห้งแบบฟอร์ม-แมทสามารถนำมาใช้ในการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวได้เช่นกันแต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 80 องศาเซลเซียสและใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นสารทำให้เกิดฟอร์มระยะเวลาการทำแห้งประมาณ 24 ชั่วโมงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่ดีกว่าการใช้กระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนเพียงอย่างเดียว
- การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำแห้งข้าวเคลือบสารสกัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวได้เบื้องต้นพบว่าข้าวเคลือบสารสกัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟมีลักษณะที่ดีกว่าการการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนซึ่งข้าวเคลือบสารสกัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวนี้มีศักยภาพในการนำมารอยด์ได้ในเชิงพาณิชย์

6.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงาน

- 6.2.1 ในการดำเนินโครงการจำเป็นต้องคัดเลือกเฉพาะผลพักข้าวที่มีสีแดง 2/3 ของผิว เท่านั้นเพื่อนำมาแยกส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและเก็บรักษาในสภาพแข็งแข็งรอการ วิเคราะห์คุณภาพเนื่องจากระดับความแก่-อ่อนของผลพักข้าวมีผลกระทบโดยตรง ต่อปริมาณสารสำคัญในเยื่อหุ้มเมล็ด
- 6.2.2 วิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากส่วนที่เหลือจากการบวนการผลิต เยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวผง เช่นการนำส่วนเนื้อพักข้าวสีเหลืองที่เหลือนี้มาพัฒนาเป็น สารเพิ่มความชันหนึ่งสำหรับใช้กับอุตสาหกรรมอาหารต่อไปหรือนำไปพัฒนาเป็น อาหารเสริมเนื่องจากในเนื้อพักข้าวส่วนสีเหลืองมีปริมาณ Zeasantene สูง
- 6.2.3 เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟไม่สามารถนำมาใช้ในการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวที่ มีสีแดงได้แต่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ร่วมกับเครื่องทำแห้งประเภทอื่น

6.3 แนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหา

- 6.3.1 ทำความเข้าใจกับเกษตรกรที่ปลูกพักข้าวเกี่ยวกับความจำเป็นในการเก็บผลพักข้าว ในระยะที่เหมาะสมคือผลมีสีแดงประมาณ 2/3 ของสีผิวเท่านั้นเพื่อให้เยื่อหุ้มเมล็ด พักข้าวมีสารสำคัญสูงสุด

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการ (Outcomes)

- 1.1. กระบวนการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดพักข้าวที่เหมาะสมสามารถคงค่าทางโภชนาการและ สารสำคัญได้มากที่สุด
- 1.2. Angkananon, W., Nisoa, M., Wattanaarsakit, P. & Anantawat, V. (2015). Effects of spray drying conditions on characteristics, nutritional value and antioxidant activity of Gac fruit aril powder. *Review of Integrative Business and Economics Research: RIBER*, 4. (ISSN: 2304-2013).

8. แนวทางในการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์พักข้าวผงให้แก่ผู้ประกอบการระดับ SMEs และ บุคคลทั่วไปที่มีศักยภาพในการนำนวัตกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์พักข้าวผงไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดย เน้นว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีความโดดเด่นในด้านคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สามารถ นำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพหรือผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้เป็น อย่างดี

9. บรรณานุกรม

- กฤตบุญยารรัตน์. (2548). เครื่องดื่มผลจากผลไม้โดยการทำแห้งแบบฟูมแมท. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- คุ้มเกล้าตุลาดิลกและพนิดาตันปิติกรณ์. (2551). น้ำกระเทียมดองชนิดผงโดยการทำแห้งแบบฟูม แมท. ว.วิทย. กษ. 39(3): 515-518.

ชุติมาอนุเทพ, วีไลสนธิเพ็มพูน, ชีรประงบังเกิดและพันธุรงค์จันทร์แสงสี. (2553). สภาพที่เหมาะสมใน การผลิตผงสำเร็จรูปจากตะไคร้ด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท. วารสารวิชาการประจำมหาวิทยาลัย นครเนื่อง 20(3), 524–533.

ธนวรรณอวยศักดิ์ชัยวงศ์และธนกรโจนกร. (2556). การทำแท้หั่งแบบฟอมของเยื้องหุ้มเมล็ดฟักข้าว.ว.
วิทย. กษ. 43(3 พิเศษ): 39-42.

ราชชัยศุภวิทพัฒนา. (2554). ผลของสารก่อโพฟมที่มีต่อสมบัติของโลจิกข้ากล้องกึงสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยวิธีโพฟ-แมท. สักทองวารสารการวิจัย 17(1), 2 – 12.

อรทัยบุญวงศ์. (2547). กรรมวิธีและลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะเกียง (Cleistocalyx nervosum var. paniala) ผงชงละลายที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและวิธีอบแห้งแบบไฟฟ้า-แม่ท.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อภิญญาภูมิสายดอนและมนต์พิทย์ข้าว. (2554). การเปลี่ยนแปลงปริมาณโลโคปีนหลังการเก็บเกี่ยวของผลพักข้าวและการทำนาย. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสนครั้งที่ 9, 1297-1304.

Abadio, F. D. B., Domingues, A.M., Borges, S.V. & Oliveira,V.M. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice: effect of maltodextrin concentration and atomization speed. Journal of Food Engineering 64 (3), 285 – 287.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. & Griffin, J. R. (1996). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today 14 (1), 4-11.

AOAC.(2000). Official of Analysis of AOAC International. (17thed.) Arlington, VA, USA:
AOAC International.

Aoki, H., Kieu, N.T.M., Kuze, N., Tomisaka, K., Chuyen, N.V. (2002). Carotenoid pigments in Gac fruit (*Mamordica cochinchinensis* Spreng). Journal of Biotechnology 66(1), 2479 – 2484.

Auisakchaiyoung, T. & Rotjanakorn, T. (2012). Foat-mat drying of Gac (*Momordica cochinchinensis*, Spreng) aril. Agricultural Sci. J. 43 : 3 (Suppl.) : 39-42.

Bhandari, B.R., Senoussi, A., Dumoulin, E.D. & Lebert, A. (1993). Spray drying of concentrated fruit juice. Drying Technology 11(5), 1081-1092.

Chopda, C.A. & Barrett, D. M. (2001). Optimization of guava juice and powder production. *Journal of Food Processing and Preservation* 25(6), 411–430.

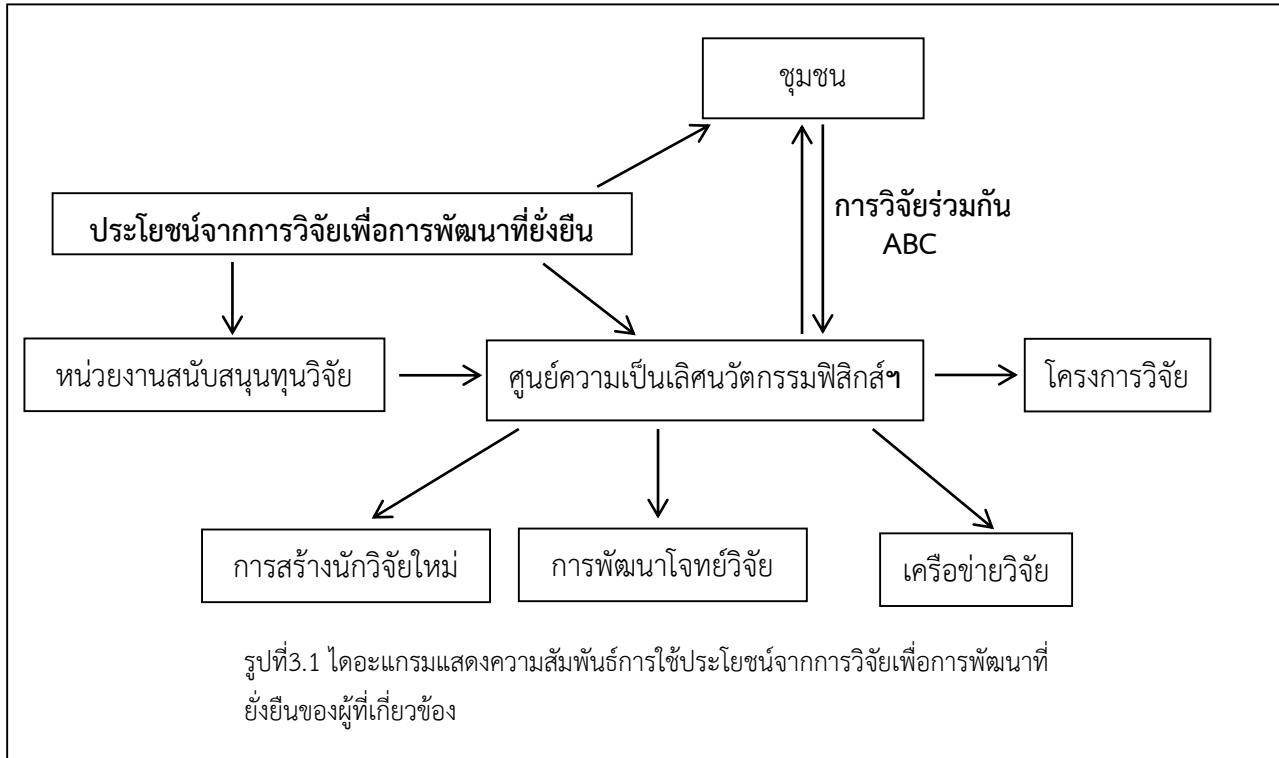
Dessbry, S. A., Netto, F. M. & Labuza, T. P. (1997). Comparison of spray-drying, drum – drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. Journal of Food Science 62 (6), 1158–1162.

- Ersus, S., & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigment of black carrot (*Daucus carota L.*) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 805-812.
- Gonzalez-Palomares, S., Estarron-Espinosa, M., Gomez-Leyva, J. F., & Andrade-Gonzalez, I. (2009). Effect of the temperature on the spray drying of Roselle extracts (*Hibiscus sabdariffa L.*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(1), 62-67.
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. & Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology* 22 (5), 1129-1151.
- Guns, E. S. & Cowell, S. P. (2005). Drug insight: lycopene in the prevention and treatment of prostate cancer. *Nature Clinical Practice Urology* 2 (1), 38-46.
- Innuna, A. (2013). Antimicrobial activity of Gac fruit (*Momordica cochinchinensis*). *Science and Engineering*, 1-6.
- Ishida, B. K., Turner, C., Chapman, M. H., & McKeon, T. (2004). Fatty acid and carotenoid composition of Gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 247-279.
- Karim, A. A. & Wai, C. C. (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) purée, stability and air drying characteristics. *Food Chemistry*, 64, 337-343.
- Kha, T., Nguyen, M.H. & Roach, P.D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98: 385-392.
- Kha, T.C., Nguyen, M.H., Roach, P. D. & Statopoulos, C. E. (2012). Effects of Gac aril microwave processing conditions on oil extraction efficiency and β -carotene and lycopene contents. *Journal of Food Engineering*, in press.
- Koc, B., Eren, I., & Ertekin, F. K. (2008). Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85, 340-349.
- Kubola, J. & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127: 1138-1145.
- Kubola, J., Meeso, N. & Siriamornpun, S. (2011). Lycopene and beta-carotene concentration in aril oil of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) as influenced by aril-drying process and solvents extraction. *Food Research International-inpress*.
- Kucuk, O., Sarkar, F.H., Djuric, Z., Sakr, W., Pollak, M.N., Khachik, F. et al. (2002). Effects of lycopene supplementation in patients with localized prostate cancer. *Society for Experimental and Biology Medicine* (Maywood), 227(10): 881-885.

- Kuhnlein, H.V. (2004). Karat, pulque and gac: Three shining stars in the traditional food galaxy. *Nutrition Reviews*, 62(11), 439-442.
- Laos, K., Lougas, T., Mandmets, A & Vokk, R. (2007). Encapsulation of β -carotene from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice in furcellaran beads. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8 (3), 395–398.
- Maiani, G., Caston, M. J. P., Catsata, G., Toti, E., Cambrodon, I. G., Bysted, A., et al., (2009). Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intake, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition Food Research*, 53, S194–S218.
- Nhung, D.T.T., Bung, P.N., Ha, N.T. & Phong, T. K. (2010). Changes in lycopene and beta carotene contents on aril and oil of gac fruit during storage. *Food Chemistry*, 121: 326–331.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.
- Rao, A. V. & Agarwal, S. (1999). Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. *Nutrition Research* 19 (2), 305–323.
- Sankat, C. K. & Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behavior of ripe bananas. *Labensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 37, 517–525.
- Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray drying. *Journal of Food Engineering* 76 (4), 664–669.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L. & Hawkins, B. D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis* 16 (6–7), 669–675.
- Thuwanichayanan, R., Prachayawarakorn, S. & Soponronnarit, S. (2008). Drying characteristics and quality of banana foam mat. *Journal of Food Engineering*, 86, 573–583.
- Tien, P.G., Kayama, F., Konishi, F., Tamemoto, H., Kasono, K., Hung, N.T., et al. (2005). Inhibition of tumour growth and angiogenesis by water extract of Gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *International Journal of Oncology*, 26(4): 881–889.
- Tran, H.T. (2007). Producing carotenoid-rich powder from Gac fruit. Master of Sciences, (Honours) Thesis, University of Western Sydney.

- Tran, T.H., Nguyen, M.H., Zabaras, D. & Vu, L.T.T. (2008). Process development of Gac powder by using different enzymes and drying techniques. *Journal of Food Engineering*, 85: 359–365.
- Tulardilok, K. & Rattanapitikorn, P. (2008). Production of garlic pickled powder by foam – mat drying. *Agricultural Sci. J.* 39(3 suppl.): 515–518.
- Vernon-Carter, E. J. & Espinosa-Paredes, G., Beristain, C. I. & Romero-Tehuitzil, H. (2001). Effect of foaming agents on the stability, rheology properties, drying kinetics and flavor retention of tamarined foam-mats. *Food Research International*, 24, 587–598
- Young, L. (2000). Underutilised β -carotene-rich crops of Vietnam. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(2): 173–181.
- Vuong, L. & King, J. C. (2003). A method of preserving and testing the acceptability of Gac fruit oil, a good source of beta-carotene and essential fatty acids. *Food and Nutrition Bulletin*, 24.
- Vuong, L. T., Franke, A. A., Custer, L. J. & Murphy, S. P. (2006). *Momordica cochinchinensis* Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluated. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 664–668.
- Vuong, L.T., Dueker, S. R. & Murphy, S. P. (2002). Plasma-carotene and retinol concentrations of children increase after a 30-d supplementation with the fruit *Momordica cochinchinensis* (Gac). *American Journal Clinical Nutrition*, 75, 872–879.
- Wagner, L.A. & Warthesen, J.J. (1995). Stability of spray dried encapsulated carrot carotenes. *Journal of Food Science* 60 (5), 1048–1053.

บทที่ 3 การพัฒนาโจทย์วิจัยและการพัฒนานักวิจัยใหม่



3.1 การสร้างเครือข่ายการการวิจัยและการนำໄไปใช้ประโยชน์

การสร้างเครือข่ายเป็นสิ่งที่สำคัญในการพัฒนางานวิจัยอย่างต่อเนื่อง และการนำไปใช้ประโยชน์อย่างทั่วถึง จะทำให้เกิดการพัฒนานักวิจัยของศูนย์วิจัยความเป็นเลิศนวัตกรรมพิสิกส์ฯ สามารถหาทุนจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งจากภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อวิจัยในการสร้างองค์ความรู้ และนวัตกรรมใหม่ โดยได้ดำเนินการสร้างเครือข่ายการวิจัย และการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

3.1.1 การจัดอบรมสัมนาเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ในหัวข้อเทคโนโลยีไมโครเวฟเพื่อการสกัดน้ำมันหอมระเหย โดยมีวิทยากรทรงคุณวุฒิ คือ ดร. สรนัน พมโน อาจารย์จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีผู้เข้าร่วมสัมนาเป็นจำนวนมาก ซึ่งได้มีการแลกเปลี่ยนความรู้ด้านการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟในการสกัดน้ำมันหอมระเหยให้กับผู้ร่วมประสัมนา



รูปที่ 3.2 กิจกรรมการอบรม

3.1.2 การหารือและความร่วมมือสร้างเครือข่ายวิจัยระดับมหาวิทยาลัยระหว่างคณาจารย์จากศูนย์วิจัยความเป็นเลิศนวัตกรรมพิสิกส์ยื่นสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ กับ คณาจารย์จากสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงในวันพุธที่ 22 พ.ค. 57 เวลา 09.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมห้องปฏิบัติการนวัตกรรมน้ำมันหอมระ夷สำหรับความปลอดภัยในอาหารและบรรจุภัณฑ์ อาคารนวัตกรรม D1 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยจะมีการพัฒนาโจทย์วิจัยร่วมกัน และการแลกเปลี่ยนบัณฑิตศึกษาเพื่อฝึกการวิจัย



รูปที่ 3.2 การหารือความร่วมมือการวิจัยกับคณาจารย์สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

3.1.3 การเข้าร่วมงานสัปดาห์พัฒนกิจสัมพันธ์มหาวิทยาลัยกับภาคการผลิตและอุตสาหกรรม ชีงศ.ดร. หมุด ตอเล็ง หนисอ ได้มีการบรรยายพิเศษเกี่ยวกับเทคโนโลยีไมโครเวฟเพื่อการอบแห้งและการแปรรูปอาหารประสิทธิภาพ สูง พร้อมกับร่วมแสดงความคิดเห็นกับประชาชนและภาคอุตสาหกรรม ในวันที่ 13-17 ตุลาคม 2557 ณ ห้องประชุมใหญ่ ปัง อาคารบริหาร มหาวิทยาลัยวิจัยลักษณ์ ซึ่งได้มีการเสนอโจทย์วิจัยจากเกษตรกร เพื่อพัฒนานวัตกรรมในการ อบแห้งยางพารา และปาล์มน้ำมัน

3.1.4 การสร้างเครือข่ายการวิจัยกับภาคอุตสาหกรรม

ได้สนับสนุนภาคอุตสาหกรรมซึ่งต้องการพัฒนานวัตกรรมใหม่ด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟ เพื่อทำวิจัยร่วมกัน โดยผู้ประกอบการจะเป็นผู้สนับสนุนทั้งหมด โดยมีผู้ประกอบการคือบริษัทแพซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด และบริษัท E-Contech Management Pte Ltd.

3.1.5 การร่วมมือกับโครงการอุทยานวิทยาศาสตร์ ภาคใต้ มหาวิทยาลัยวิจัยลักษณ์

การร่วมมือกับอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ มหาวิทยาลัยวิจัยลักษณ์ ทำให้สามารถขยายเครือข่ายการใช้ ประโยชน์เทคโนโลยีไมโครเวฟ เนื่องจากอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ฯ มีการดำเนินงานโครงการต่างๆ คือการบ่มเพาะ ธุรกิจเทคโนโลยี การบ่มเพาะวิสาหกิจ การสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ <http://wu-stsp.wu.ac.th/>) โดยมีกิจกรรมร่วมกันดังนี้

- การวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากใบพุเรียนน้ำ
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์อบแห้งเครื่องแกง น้ำพริก เห็ดแครง อัญชัญ
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์อบแห้งกล้วยเล็บมีนอง
- การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง สร้างธุรกิจด้วยผลิตภัณฑ์อบแห้ง

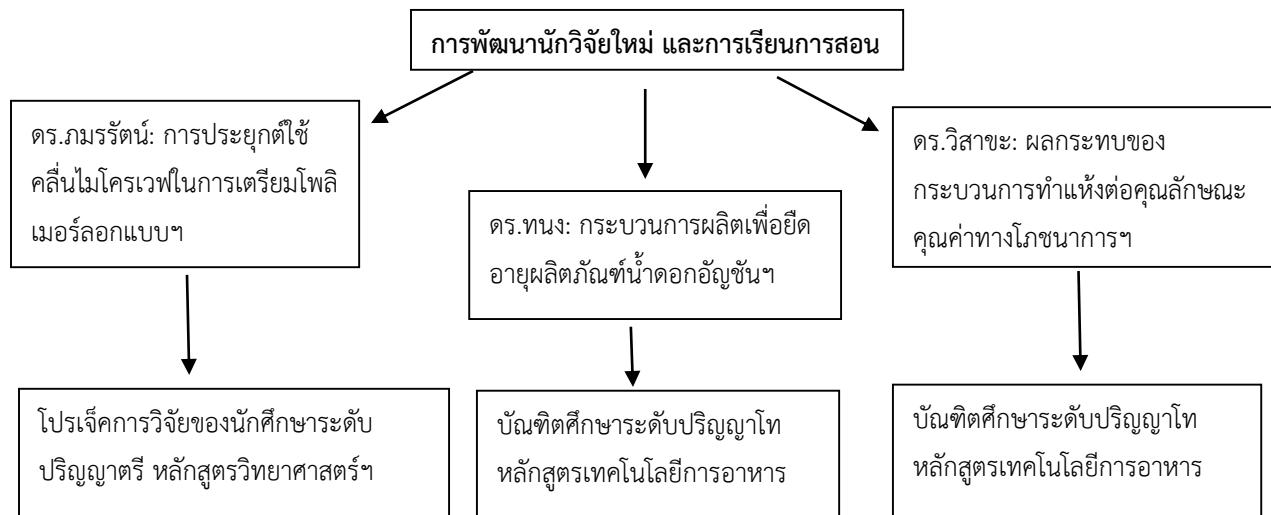
การดำเนินงานร่วมกันดังกล่าวทำให้เกิดผู้ประกอบการใหม่ในการผลิตชาทุเรียนน้ำ ทวีฟาร์ม จำกัด ภาคพื้นที่ จังหวัดนครศรีธรรมราช การพัฒนาโจทย์วิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำดอกอัญชัญ การศึกษาความเป็นไปได้ใน การพัฒนาผลิตภัณฑ์อบแห้งกล้วยเล็บมีนอง น้ำพริกแห้ง เป็นต้น และกำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา โครงการวิจัยเพื่อพัฒนานวัตกรรมการอบแห้งปาล์มน้ำมัน เพื่อผลิตน้ำมันปาล์มคุณภาพสูง

3.1.6 การสนับสนุนเครือข่ายประมงพื้นบ้าน อ่าวท่าศาลาผลิตอาหารทะเลปลอดภัย

ร้านคนจับปลา สาขานครศรีธรรมราช ชุมชนประมงพื้นบ้านอ่าวท่าศาลา จำกัด ท่าศาลาและชุมชนปากพูน อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช ได้รับการสนับสนุนทางวิชาการจากมหาวิทยาลัยวิจัยลักษณ์และหน่วยวิจัยเทคโนโลยี

พลาสma เพื่อทดลองการแปรรูปอาหารทะเลด้วยเครื่องอบไมโครเวฟและตู้تاภพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งที่ผ่านมาได้ใช้ในการทำปลากรุ้งและปลาจวดเดดเดี้ยว โดยมีเครือข่ายของชาวประมง NGO และผู้บริโภคอาหารทะเลปลดภัยผ่านทางFacebook(<https://th-th.facebook.com/jeabkajom>) และ Line

3.2 การพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ และการพัฒนาการเรียนการสอน



รูปที่ 3.3 การพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ และพัฒนาการเรียนการสอน

ในการพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ของศูนย์ความเป็นเลิศนวัตกรรมพิสิกรรมฯ โดยผ่านชุดโครงการ “การวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสma และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อพัฒนานวัตกรรมทางการเกษตร” มีการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยนักวิจัยทั้งสามคน ได้ดำเนินการวิจัยในหัวข้อที่เป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการ และสามารถนำไปสู่การพัฒนาการเรียนการสอนทั้งในระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา ซึ่งมีผลงานการวิจัยในรูปของการนำเสนอในประชุมระดับชาติและระดับนานาชาติ

1. Angkananon, W., Nisoa, M., Wattanaarsakit, P., Anantawat, V., 2014. Effect of spray drying conditions on physicochemical and antioxidant activity of Gac fruit aril powder. The 6th Walailak Research National Conference. July 3-4, 2014, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat (Oral).
2. Anantawat, V., Angkananon, W., Rhatrongwang, W., Wattanaarsakit, P., Nisoa, M., 2014. Effect of drying on Characteristics of Gac Fruit extract coated Sangyod rice. The 6th Walailak Research National Conference. July 3-4, 2014, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat (Poster).

3. Thongzai, H., Aewsiri, T., 2014. Antioxidant activity of Sangyot rice bran (*Oryza sativa L.*) extract by microwave-assisted solvent extraction. The 6th Walailak Research National Conference. July 3-4, 2014, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat (Poster).
4. Kueseng, P., Yaseng, H., Malasae, A., Sala, H., Sontimuang, C., Nisoa M., 2014. Molecularly imprinted polymer prepared by custom-Made microwave heating for analysis of atrazine herbicide. Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON). July 3-4, 2014, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat. (Poster).

3.3 การพัฒนาโจทย์วิจัยใหม่ 2 เรื่องที่เป็นความต้องการของชุมชนคือ

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจากข้าวกล้องไข่มดริ้น
2. การศึกษาปรับปรุง และพัฒนาวิธีการ กระบวนการผลิตเพื่ออายุผลิตภัณฑ์น้ำดอกอ้อยชัน

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจากข้าวกล้องไข่เม็ดธีน

กนกวรรณ พ่วงจินดา¹ กิติยา สุเมห์¹ นฤมล มาแทน^{1,3*} และ หมุดตอเล็บ หนีสอ^{2,3}

¹วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

²สำนักวิชาภาษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวิจัยลักษณ์

³ศูนย์ความเป็นเลิศนวัตกรรมพิสิกส์ยั่งยืนสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยวิจัยลักษณ์

*Email: [nnarumol@wu.ac.th](mailto:narumol@wu.ac.th)

1. บทนำ

งานวิจัยนี้ได้นำข่าวกล้องไปมีรีนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ที่มีอยู่ในห้องถินของจังหวัดนครศรีธรรมราชมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะขนมขบเคี้ยวแบบแห่งสำหรับเด็กเนื่องจากข้าวไข่เม็ดริ้นมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวสายพันธุ์อื่นๆที่พบทั่วไปในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช และเพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภควัยเด็กที่ต้องการสารอาหารจำพวกโปรตีนในการเจริญเติบโตในปริมาณมากต่อวัน จึงมีแนวความคิดในการนำมมาแพะที่มีโปรตีนสูงและมีการผลิตในห้องถินจังหวัดนครศรีธรรมราชให้เป็นส่วนผสมหลัก งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญในการหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่ให้สชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในวัยเด็ก รวมถึงต้องการผลิตขนมขบเคี้ยวให้คงคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนสำหรับเด็ก และเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาวิธีการถนอมอาหารที่ไม่ทำลายสารอาหารและไม่ใช้สารเคมีแต่ใช้วิธีการนำเทคโนโลยีที่ใช้อุณหภูมิต่ำเข้ามาช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เช่น เทคโนโลยีพลาスマ การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งทางงานวิจัยนี้เสร็จสิ้นแล้วผลงานที่ได้จะถูกนำไปถ่ายทอดให้แก่ชุมชนผู้ลูกข้าวกล้องไข่เม็ดริ้น อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช รวมถึงผู้ประกอบการที่ผลิตขนมแพะ เพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบหลักที่สามารถผลิตได้จังหวัดนครศรีธรรมราช

2. บททวนวรรณกรรม

ข้าวกล้องไข่มดรีนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 เป็นข้าวที่อุดมไปด้วยแร่ธาตุและโปรตีนในปริมาณสูง มีแหล่งเพาะปลูกอยู่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งข้าวกล้องสายพันธุ์นี้ถูกเลือกเพื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เนื้องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและผู้วิจัยต้องการเพิ่มมูลค่าข้าว สายพันธุ์นี้เพื่อเป็นทางเลือกในการนำมาปรุงให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่นที่ปลูกข้าวสายพันธุ์ดังกล่าว

2.1. ประวัติของข้าวกล้องไข่มดรีนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ข้าวกล้องไข่มดรีนเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองในภาคใต้ที่รู้จักกันมานาน แต่ยังไม่มีการระบุปี พ.ศ. ที่ค้นพบ ข้าวไข่มดรีนมีชื่อโดยทั่วไปเรียกว่า “ข้าวไข่มดรีน” “ไข่มดลีน” หรือ “ข้าวไข่มด” โดยมีหลักฐานยืนยันว่าเป็นสายพันธุ์ที่เคยปลูกในอดีตภาคใต้ของประเทศไทยดังปรากฏชื่อในตำราบุศบกฤษนาของสำนักวัดเขาอ้อ จังหวัดพัทลุง ที่กล่าวถึงชื่อพันธุ์ข้าวไข่มดรีนในตอนหนึ่งว่า

.....แม่นิลโพสี หน่วยเรียนร่อง กอง นางทองรุวงรี จูกเที่ยมงานดี

ข้าวเยี่ร่วงดำ	นางหอมประจำ	ข้าวประจะห่มหวาน	ข้าวช่อไม้ไผ่
ไข่เม็ดลิ้นคลาน	ข้าวเรียงข้าวดาล	ยังข้าวนั้นเหลย	นางทรงส์ส่งรส.....

ข้าวสายพันธุ์นี้นิยมปลูกในเขตภาคใต้ เพราะสามารถเจริญเติบโตได้ดี ช่วงเวลาที่พับการบันทึกการปลูกข้าวสายพันธุ์นี้เริ่มมาตั้งแต่ปี 2530 และปลูกเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน (เพรรัตน์ จันพันธุ์, 2546) โดยเฉพาะในจังหวัดนครศรีธรรมราชพบว่ามีการเพาะปลูกข้าวสายพันธุ์นี้มากในเขตอำเภอหาด อำเภอร่อนพิบูลย์ นอกจากนั้นยังพบการปลูกในจังหวัดอื่นๆ เช่น ในอำเภอระแสสินธุ์ จังหวัดสงขลา และอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ซึ่งข้าวไข่เม็ดริ้นเป็นพันธุ์ข้าวพันธุ์ดี มีเชื้อเสียงด้านคุณภาพดี มีคุณสมบัติตามสโนนิยมในการบริโภคข้าวในภาคใต้ คือ เป็นข้าวเมล็ดยาว สีใส หุงง่าย หุงขึ้นหม้อ เมื่อสุกมีลักษณะร่วนค่อนข้างนุ่ม รสชาติมันอร่อย และมีความอยู่ห้อง (สำเริง แซ่ตัน และ สมนึก หนูนิม, 2534)

2.2. ลักษณะของข้าวไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 การจำแนกข้าวแต่ละสายพันธุ์สามารถใช้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่มีในข้าวแต่ละชนิด เพื่อทำการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุคุณต่อไป โดยข้าวไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ลักษณะทั่วไปของเมล็ดข้าวไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 คือ ข้าวเปลือกมีสีน้ำตาลส่วนข้าวกล้องมีลักษณะสีขาวขุ่น ดังภาพที่ 1 การที่เมล็ดข้าวกล้องมีสีขาวขุ่นนั้นเนื่องจากมีปริมาณของสารแอนโทไซยานินในเยื่อหุ้มผล (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seedcoat) และเยื่ออลูโรน (Aleurone) ในปริมาณที่น้อย ทำให้ลักษณะข้าวไม่มีสีม่วงหรือสีแดงเหมือนข้าวกล้องทั่วไป ลักษณะห้องไข่หรือจุดขุ่นขาวในเมล็ดเกิดจากช่องอากาศเล็กๆที่พับภายในเมล็ดซึ่งมีอยู่ไม่มากนัก ทั้งนี้ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของข้าวไข่เม็ดริ้นระบุไว้ดังตารางที่ 1 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2553)



ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวขาว

ภาพที่ 1 ลักษณะของข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขาวของไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3
ที่มา : (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2553)

2.2.2 ลักษณะทางเคมีของข้าวไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 คุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าวไข่เม็ดริ้นพบว่าเมล็ดข้าวมีปริมาณของอะไมโลส้อยละ 21 ± 1 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้พบว่าข้าวเจ้าส่วนใหญ่มีปริมาณของอะไมโลสอยู่ในปริมาณร้อยละ 10 - 34 โดยปริมาณของอะไมโลสเป็นค่าที่บอกรถึงความเหนียวและความร่วนของเมล็ดข้าว ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ เวลาหุงจึงต้องใส่น้ำในปริมาณที่มากกว่า (งานชื่น คงเสรี, 2546) ส่วนค่าความคงตัวของปริมาณแป้งสุก พบร้าข้าวไข่เม็ดริ้นมีลักษณะความเป็นแป้งสุกอ่อน โดย

จะพิจารณาจากการเคลื่อนที่ของแป้งสุก ส่วนกลินของข้าว พบร้าข้าวสายพันธุ์เป็นข้าวที่มีกลินไม่หอมและเนื้อสัมผัสของข้าวค่อนข้างนุ่ม มีการเกะตัวของข้าวเมื่อหุงสุกมีลักษณะที่ร่วน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3

คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ	ลักษณะ
สีของเปลือกเมล็ด	น้ำตาล
สีของข้าวกล้อง	ขาวชุ่น
การเป็นท้องไข่*	น้อย (0.52)
ขนาดของเมล็ดข้าวเปลือก	ยาว 9.47 ± 0.27 มิลลิเมตร กว้าง 2.54 ± 0.08 มิลลิเมตร
ขนาดของเมล็ดข้าวกล้อง	ยาว 6.93 ± 0.18 มิลลิลิตร กว้าง 2.07 ± 0.07 มิลลิเมตร
รูปร่าง (ข้าวกล้อง)	เรียว
ขนาดของเมล็ดข้าวขาว	ยาว 6.67 ± 0.22 มิลลิลิตร กว้าง 2.03 ± 0.07 มิลลิเมตร หนา 1.66 ± 0.06 มิลลิเมตร

หมายเหตุ คุณภาพเมล็ดข้าวเฉลี่ยจาก 100 เมล็ด

*ค่าท้องไข่	น้อยกว่า 1.0	=	น้อย
	1.0-1.5	=	ปานกลาง
	1.6-2.0	=	ค่อนข้างมาก
	มากกว่า 2.0	=	มาก

ที่มา : (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2553)

2.2.3 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ข้าวกล้องไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 เป็นข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองสายพันธุ์หนึ่งที่มีการเพาะ ปลูกอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ นอกเหนือจากข้าวสังข์ หยดเมืองพัทลุง ข้าวบางกอก ข้าวแหกหญ้า และข้าวเหนียวหลันตัน ซึ่งข้าวพื้นเมืองในกลุ่มนี้มีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 7.35 - 10.36 ซึ่งจัดว่าเป็นปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างสูง ประกอบกับข้าวพื้นเมืองกลุ่มนี้ยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุหลากหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียม สังกะสี แมงกานีส ซีลีเนียม และทองแดง เป็นต้น ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกาย จากข้อมูลข้างต้นข้าวกล้องไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 จึงมีความเหมาะสมที่จะเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

2.3 น้ำนมแพะ (Goat milk)

มนุษย์ได้นำเอาน้ำนมสัตว์ เช่น น้ำนมโค หรือน้ำนมแพะมาบริโภคเป็นอาหารอย่างแพร่หลายเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในปัจจุบันนี้ได้มีการนำน้ำนมแพะมาบริโภคกันอย่างแพร่หลายในรูปแบบ นมแพะผง เนยแข็งนมแพะ นมแพะพาสเจอร์ไรซ์ และ โยเกิร์ตนมแพะ เป็นต้น เนื่องจากน้ำนมแพะมีรสชาติคล้ายน้ำนมโคที่สำคัญน้ำนมแพะเป็นแหล่งอาหารที่ดีมีประโยชน์ในการบำรุงรักษาสุขภาพร่างกายและโภชนาการของเด็กและผู้สูงอายุ (Ribeiro & Ribeiro, 2010) มีการรายงานว่าในเด็กที่มีอาการแพ้น้ำนมโคสามารถดื่มน้ำนมแพะทดแทน เนื่องจากโปรตีนเคชีนชนิด α_{s1} -casein ในน้ำนมแพะมีปริมาณน้อยกว่าน้ำนมโค ซึ่ง Bevilacqua et al. (2006) ได้ศึกษาการป้อนโปรตีนเคชีนชนิด α_{s1} -casein ในหนูทดลองโดยให้หนูทดลองรับน้ำนมแพะและน้ำนมโคเป็นอาหารแล้วทำการเปรียบเทียบการเกิดอาการแพ้ น้ำนม พบว่า หนูทดลองที่ได้รับน้ำนมโคเกิดอาการแพ้โปรตีนเคชีนชนิด α_{s1} -casein ส่วนหนูทดลองที่ได้รับน้ำนมแพะ มีอาการแพ้เพียง 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากน้ำนมแพะมีโปรตีนเคชีนชนิด α_{s1} -casein ในปริมาณที่น้อย นอกจากนั้นยัง มีรายงานการนำน้ำนมแพะมาทดแทนน้ำนมารดาในกรณีที่มารดาไม่สามารถให้นมบุตรได้ (Bevilacqua, Helbling, Miranda, & Martin, 2006)

2.3.1. องค์ประกอบของน้ำนมแพะ

น้ำนมแพะอุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน น้ำนมแพะมีคุณค่าทาง โภชนาการที่สูงมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นมากสำหรับการพัฒนาร่างกายและสมองของเด็ก ๆ นอกจากนี้มีการรายงานว่า น้ำนมแพะมีสารอาหารหลักมากกว่าน้ำนมโคและมีสารอาหารไกล์คีอิงกับน้ำนมมนุษย์ โดยในน้ำนมแพะมีปริมาณ โปรตีนและไขมันที่สูงกว่าน้ำนมโค และน้ำนมมนุษย์ คือ 3.4 เปอร์เซ็นต์ และ 4.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่พบว่า ปริมาณน้ำตาลแลคโตสน้อยกว่าน้ำนมโค และน้ำนมมนุษย์ โดยสารอาหารในน้ำนมแพะยังมี ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแลคโตส เจ้า เอนไซม์ และวิตามิน (Sheehan, Patel, Drake, & McSweeney, 2009) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสารอาหารหลักในน้ำนมแพะ น้ำนมโค น้ำนมมนุษย์ และน้ำนมแกะ

ส่วนประกอบ	น้ำนมแพะ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำนมโค (เปอร์เซ็นต์)	น้ำนมมนุษย์ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำนมแกะ (เปอร์เซ็นต์)
โปรตีน (Protein)	3.4	3.2	1.2	6.2
น้ำตาลแลคโตส (Lactose)	4.1	4.7	6.9	4.9
ไขมัน (Fat)	3.8	3.6	4.0	7.9

เกล้า (Ash)	0.8	0.7	0.3	0.9
ปริมาณของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (Solids-not-fat)	8.9	9.0	8.9	12.0

ที่มา : Park et al. (2007)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการนำข้าวกล้องไปมาร์คกับน้ำนมแพะมาเป็นส่วนผสมหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมขบเคี้ยวโปรตีนสูงสำหรับเด็ก

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตนมขบเคี้ยวโปรตีนสูงจากข้าวกล้องไปมาร์คกับน้ำนมแพะสำหรับผู้บริโภควัยเด็ก

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- ก. ข้าวเปลือกข้าวเจ้าสายพันธุ์ไปมาร์ค 3
- ข. นมแพะ (Goat milk)
- ค. น้ำผึ้ง (Honey)
- ง. น้ำนมข้าวกล้อง (Rice milk)
- จ. เนยถั่ว (Peanut butter)
- ฉ. น้ำตาล (Sugar)
- ช. งาดำ (Black Sesame)
- ซ. สับปะรด (Pineapple)

2. สารเคมี

- ก. สารช่วยเร่งปฏิกิริยาสำหรับวิเคราะห์โปรตีน (Kjelstab)
- ข. กรดกำมะถันเข้มข้น (Sulfuric acid)
- ค. สารป้องกันการเกิดฟอง (Antifoam reagent)
- ง. โซเดียมไฮดรอกไซเด (Sodium hydroxide)
- จ. โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium cyanide)
- ฉ. สารละลายกรดบอริคความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ (4% Boric acid)
- ช. สารละลายเมทธิเรด (Methyl red)
- ซ. สารละลายบرومครีซอลกรีน (Bromcresol green)
- ญ. สารละลายกรดไฮdroคลอริกมาตรฐาน 0.2 มоляร์ (0.2M Hydrochloric acid)
- ญ. ปิโตรเลียมอี瑟อร์ (Petroleum ether)

- ก. อัซตีตน (Acetone)
 - ภ. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Hydrochloric acid)
 - ช. กรดไนต์ริก (Nitric acid)
 - ท. สารละลายฟีโนฟทาลีน (Phenolphthalein)
 - ฉ. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 มोลาร์ (1M Sodium hydroxide)
 - ณ. กรดกำมะถันเข้มข้น 2.5 มोลาร์ (2.5M Sulfuric acid)
 - ด. สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ (Ethanol)
 - ต. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ (50% Potassium hydroxide)
 - ถ. เอ็กเซน (Hexane)
 - ท. สารละลายเมಥานอล (Methanol)
 - ธ. สารละลายบีฟเฟอร์ (Tris-base)
 - น. กเลเชอรอล (Glycerol)
 - บ. สารละลายแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (70% Alcohol)
 - ป. น้ำกลั่นปลดเชื้อ (Deionized water)
 - ผ. สารละลายโพแรทสเซียมไอโอดไรโอไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (50% Potassium iodite)
 - ฝ. สารละลายโซเดียมไฮโอดิโซซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 นอร์มอล (0.002 Normality sodium thiosulphate)
 - พ. น้ำแป้งความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (1% Starch solution)
 - ฟ. กรดอะซิติก (Acetic acid)
 - ภ. สารละลายคลอร์ฟอร์ม (Chlorofrom)
 - ม. กรดไทโอบาร์บิทูริกความเข้มข้น 0.375 เปอร์เซ็นต์ (0.375% Thiobarbituric acid)
 - ย. กรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ (15% Trichloroacetic acid)
 - ร. กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล (0.25 N HCl)
 - ล. สารละลายฟีโนอล (Phenol)
3. อุปกรณ์
- ก. เตาอบ (Oven)
 - ข. กระทะ (Pan)
 - ค. ถาด (Tray)
 - ง. กะละมัง (Basin)
 - จ. หม้อ (Pot)
 - ฉ. มีด (Knife)
 - ช. ตะหลิว (Flipper used in frying)
 - ฉ. จั๊ก (Ladle)
 - ณ. เตาแก๊ส (Gas stove)
 - ญ. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Balance)

- ฎ. กล่องพลาสติกไสโพรพอลีเพรพิลีน (Polypropylene, PP)
- ฏ. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity: a_w)
- ฐ. เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส (Texture analyzer)
- ฑ. เครื่องชังทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance)
- ฒ. เครื่องวัดค่าสี (MiniScan EZ)
- ณ. เครื่องกลั่นและໄຕเตรอหัตโนเมตติ (Kjeltec 2460 auto sampler system)
- ດ. เครื่องวิเคราะห์หาไขมัน พร้อมอุปกรณ์ประกอบ (Soxhlet fat analyzer)
- ຕ. เครื่องวิเคราะห์เยื่อไข (Fibertec system M)
- ຖ. เครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุ (ICP-OES)
- ທ. เครื่องตีป่นอาหาร (Stomacher)
- ຮ. เครื่องเขย่าสาร (Vortex)
- ນ. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- ບ. เตาอยสารตัวอย่าง (Digestion block)
- ປ. ขวดก้นกลม (Round bottom flask)
- ຜ. ไมโครพิเปตต์ (Micropipette)
- ຝ. โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ພ. เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace)
- ຟ. กระบอกตัว (Cylinder)
- ກ. คีมโลหะ (Stainless steel clamp)
- ມ. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible)
- ຍ. ที่วางหลอดทดลอง (Rack)
- ຮ. หลอดทดลอง (Test tube)
- ລ. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
- ວ. กระดาษกรอง (Filter paper)
- ສ. บีกเกอร์ (Beaker) ช้อนตักสาร (Spatula)
- ໜ. ลูปเขี้ยวเชือ (Loop)
- ສ. เครื่องเขย่าสาร (Vortex) หลอดดูดสารขนาดไมโครลิตร (Tips)
- ທ. กระดาษเลเบล (Label)
- ພ. เครื่องระเหยแห้งสูญญากาศแบบหมุน (Rotary vacuum evaporator)
- ອ. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (U/V vis spectrophotometer)
- ຮ. อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)

3.2. วิธีการทดลอง

1 การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้อง

ในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องจำเป็นต้องมีการพัฒนาสูตรของขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคโดยได้ข้อมูลจากร่างเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ในการทดลองที่ 1 ดังนี้

1.1 การหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องโดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design)

ก. ทำการพัฒนาสูตรซึ่งเรียลข้าวกล้อง โดยมีส่วนผสมหลัก ดังนี้

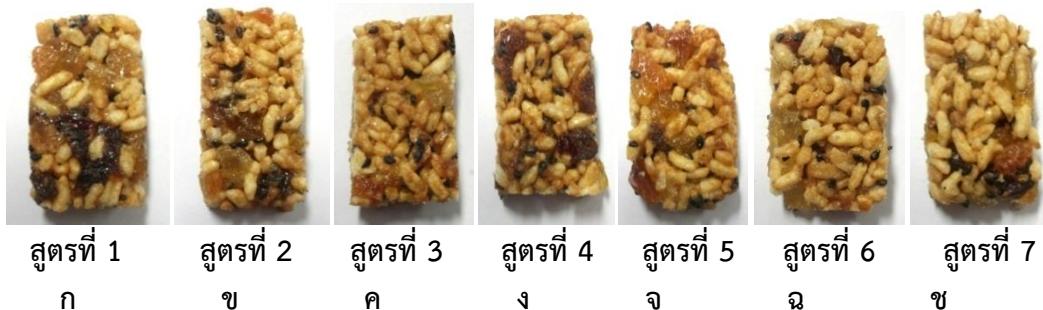
ข้าวไข่มุกเดรินสายพันธุ์ NSRC95001-1-3	ร้อยละ 50 ถึง 60
ลูกเกด	ร้อยละ 20 ถึง 30
น้ำผึ้ง	ร้อยละ 15 ถึง 25

ข. นำส่วนผสมหลักทั้ง 3 ชนิด มาทำการวางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design) โดยมีสูตรที่ได้จากการวางแผนการทดลอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สูตรขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องไข่มุกเดริน

ส่วนผสม (กรัม)	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7
ข้าวไข่มุกเดริน	26.5	26.5	29.2	29.2	29.2	31.8	31.8
ลูกเกด	13.3	15.9	10.6	13.3	15.9	10.6	13.25
น้ำผึ้ง	13.3	10.6	13.3	10.6	8.0	10.6	8.0

ค. ชั่งส่วนผสมตามสูตรที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design) ในตารางที่ 3 โดยข้าวไข่มุกเดรินที่ใช้ต้องเป็นข้าวพองที่ผ่านการหุงด้วยหม้อหุงข้าวเป็นเวลา 30 นาที ในอัตราส่วน ข้าวสาร 300 กรัมต่อน้ำ 900 มิลลิลิตร แล้วอบแห้งด้วยลมร้อน 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหดท่ออุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการผลิต คือผสมของแห้งทั้งหมดคือส่วนผสมหลักตามสูตร (ข้าวกล้องไข่มุกเดริน ลูกเกด และน้ำผึ้ง) ดังตารางที่ 3 และแต่ละสูตรเติมสับปะรด 10 กรัม เนยถั่ว 10 กรัม น้ำนมข้าวกล้อง 40 กรัมและจำกัด 3 กรัม คนให้เข้ากันจนเนียนยิ่ง ข้นหนืด ปิดไฟ จากนั้นผสมให้เข้ากัน และเทส่วนผสมลงในภาชนะกว้าง 10 และยาว 10 เซนติเมตร ที่ปูกระดาษอลูมิเนียมรองไว้แล้วเกลี่ยให้ทั่วภาชนะ โดยใช้ขวดแก้วกดจนแน่น จากนั้นนำไปเผาอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำภาชนะพักให้เย็น ดึงแผ่นอลูมิเนียมออก ตัดเป็นชิ้นๆเรียลกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร โดยเรียลข้าวกล้องแต่ละสูตรดังภาพที่ 2 (ก – ช)



ภาพที่ 2 ลักษณะภายนอกของนมขบเคี้ยวแต่ละสูตรที่พัฒนาได้

1.2 การทดสอบการยอมรับด้านประสิทธิภาพสัมผัสของผู้บริโภคต่อข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด

ก. การทดสอบการยอมรับโดยใช้สเกลแบบ Hedonic โดยใช้ผู้ทดสอบให้คะแนนตามระดับความชอบ ซึ่งมีคะแนน 9 ระดับ คือ

- | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|
| ไม่ชอบมากที่สุด (1) | ไม่ชอบมาก (2) | ไม่ชอบปานกลาง (3) |
| ไม่ชอบเล็กน้อย (4) | บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ (5) | ชอบเล็กน้อย (6) |
| ชอบปานกลาง (7) | ชอบมาก (8) | ชอบมากที่สุด (9) |

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ทดสอบคือคุณลักษณะด้าน สี กลิ่นรส กลิ่น ความกรอบ ลักษณะ
ปรากฏ และความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวข้างล้องรูปแบบแห่ง แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณผลด้วยโปรแกรม
คอมพิวเตอร์ และสรุปผลการทดลอง

๖. การทดสอบการยอมรับโดยใช้สเกลแบบ Just about right (JAR) โดยให้ผู้ทดสอบทำเครื่องหมายลงในช่องที่ตรงกับลักษณะความรู้สึกในแต่ละคุณลักษณะที่ทดสอบคือคุณลักษณะด้านความหวาน ความเค็ม ความกรอบ สีน้ำตาล และกลิ่นเนยถั่ว โดยมีระดับสเกล ดังนี้

<input type="checkbox"/>				
น้อยมาก	น้อย	พอดี	มาก	มากที่สุด

ค. จกนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสหง 2 วิชี มาทำการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2 การทดสอบการใช้พลาสมายีน (Cold Plasma) ในการลดเชื้อแบคทีเรียห้องน้ำนมแพะดิบ

การทดลองทำโดยการปีเปตตัน้ำนมแพะดิบ 15 มิลลิลิตรลงในภาชนะปลอดเชื้อที่เตรียมไว้ นำไปฉายพลาスマเย็น (Cold Plasma) ที่เวลา 0.5 และ 15 นาที ตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างน้ำนมมาทำการเจือจาง ให้อยู่ในช่วงระดับความเจือจางที่สามารถนับจำนวนโคโลนีได้ จากนั้นจึงถ่ายตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่างๆ มา 1 มิลลิลิตร ลงในงานอาหาร Compact dry TC นำไปบ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนงานอาหารเลี้ยงเชื้อ

3 การทำให้เข้มข้นด้วยการหุงข้าวกล้องกับน้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์

ก. นำน้ำนมแพะดิบมาพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งในระหว่างทำการทดลองต้องควบคุมอุณหภูมิของการให้อยู่ในช่วง 60-63 องศาเซลเซียสและนำน้ำนมแพะมาทำให้เย็นอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็นหรือ น้ำแข็ง จนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

ข. น้ำนมแพะที่พาสเจอร์ไรซ์แล้วมาผสมกับข้าวกล้องและน้ำเปล่าในอัตราส่วนของข้าวกล้องต่อน้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์ต่อน้ำเปล่า คือ 1:2:0 1:1:1 1:0.75:1.25 1:0.5:1.5 และ 1:0.25:1.75 กรัม ตามลำดับ

ค. หุงข้าวกล้องที่ผสมกับน้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์และน้ำเปล่าตามอัตราส่วนต่างๆ

ง. บันทึกค่าน้ำหนักของส่วนผสมและคำนวณผลผลิตร้อยละ (% yield)

จ. นำข้าวกล้องที่หุงกับน้ำนมแพะมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่มีลักษณะกลมและ บันทึกน้ำหนัก

ฉ. นำมาอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 60 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และบันทึกจำนวนภายนอก

ผลผลิตจริง

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}}{\text{ผลผลิตจริง}} \times 100$$

4. ผลการทดลอง

4.1 การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตนมขบเคี้ยวข้าวกล้องโดยใช้แผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design)

จากการทดลองหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตนมขบเคี้ยวข้าวกล้องได้ มีการนำแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design) มาใช้ในการพัฒนาสูตรขนมขบเคี้ยวข้าวกล้อง ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถคัดเลือกสูตรที่ดี

ที่สุดเพื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป ซึ่งส่วนผสมหลักของขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องที่ใช้ คือ ข้าวกล้องไข่มดรีนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ลูกเกด และน้ำผึ้ง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แต่ละสูตรมาทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

ก. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องโดยใช้สเกลแบบ Hedonic scale

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องทั้ง 7 สูตร ในผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยวิธีการใช้สเกลแบบ 9 - point hedonic พ布ว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับโดยรวมต่อขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องทุกสูตรในระดับที่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง อย่างไรก็ตามพบว่าความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องสูตรที่ 6 แม้จะอยู่ในระดับเดียวกับสูตรอื่นๆ คือ อยู่ในระดับความชอบปานกลาง แต่เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะสัมผัสด้านสี รสชาติ กลิ่น ลักษณะปรากวู พบร่วมกับความชอบปานกลาง แต่ต่ำกว่าสูตรที่ 6 มีคะแนนความชอบรวมมากกว่าทุกสูตร คือ ความชอบต่อสี เท่ากับ 7 ± 1 ทางด้านรสชาติเท่ากับ 7 ± 2 ทางด้านกลิ่นเท่ากับ 7 ± 2 ทางด้านลักษณะปรากวู 7 ± 1 และทางด้านความชอบโดยรวมเท่ากับ 7 ± 1 ดังนั้นสูตรที่ 6 จึงถูกคัดเลือกเป็นสูตรพื้นฐานในการผลิตขนมขบเคี้ยวข้าวกล้อง (ตารางที่ 4.15)

การทดลองนี้พบว่า ระดับความชอบในคุณลักษณะต่างๆ ของซีเรียลข้าวกล้องในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากปริมาณของวัตถุดิบหลัก 3 ชนิด คือ ข้าวกล้องไข่มดรีนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ลูกเกด และน้ำผึ้ง มีปริมาณที่แตกต่างกันในขนมขบเคี้ยวข้าวกล้อง โดยปริมาณของวัตถุดิบที่ต่างกันจะส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะปรากวูของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันด้วย ทั้งนี้พบว่าความเหมาะสมของปริมาณวัตถุดิบหลักที่ใส่ลงในผลิตภัณฑ์จะส่งผลต่อระดับความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากที่สุด เช่น ขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องสูตรที่ 7 มีการเติมน้ำผึ้งปริมาณ 8 กรัมลงไปในขนมขบเคี้ยว ซึ่งจัดว่าเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น และมีการใส่ข้าวกล้องไข่มดรีนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ปริมาณ 31.8 กรัม และลูกเกดปริมาณ 13.25 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ทำให้ส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ชนิดนี้ไม่มีความพอดีเนื่องจากมีปริมาณของแห้งที่มากเกินไป และมีปริมาณของเหลวที่ใช้ในการยืดติดผลิตภัณฑ์ที่น้อยเกินไป ส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องยืดเท่ากันน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับซีเรียลข้าวกล้องสูตรอื่นๆ ทำให้ระดับความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวสูตรที่ 7 มีค่าในระดับที่ชอบเล็กน้อยซึ่งเป็นระดับที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น และส่งผลให้สูตรที่ 6 เป็นสูตรที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบรวม ค่าสี รสชาติ กลิ่น และลักษณะปรากวู ในระดับที่ชอบปานกลางโดยมีคะแนนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ เนื่องจากสูตรที่ 6 มีองค์ประกอบของวัตถุดิบที่เหมาะสมทั้งในส่วนของวัตถุดิบที่เป็นของแห้ง และวัตถุดิบที่เป็นของเหลวที่ใช้ในการยืดเท่ากัน ซึ่งประกอบด้วยข้าวกล้องไข่มดรีนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 31.8 กรัม ลูกเกด 10.6 กรัม น้ำผึ้ง 10.6 กรัม จา 3 กรัม น้ำนมข้าว 40 กรัม เนยถั่ว 10 กรัม สับปะรด 10 กรัม และพุทรา 10 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบด้านประสิทธิภาพสัมผัสของผู้บริโภคต่อขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องรูปแบบแห่ง โดยใช้สเกลแบบ 9-point hedonic

คุณลักษณะ	สูตรที่						
	1	2	3	4	5	6	7
ค่าสี	6 ± 2 ^b	6 ± 2 ^b	7 ± 1 ^{ab}	7 ± 2 ^{ab}	6 ± 2 ^{ab}	7 ± 1 ^a	7 ± 1 ^{ab}
รสชาติ	6 ± 2 ^b	6 ± 2 ^{ab}	6 ± 1 ^a	6 ± 1 ^{ab}	7 ± 2 ^a	7 ± 2 ^a	6 ± 2 ^{ab}
กลิ่น	6 ± 2 ^b	6 ± 2 ^{ab}	7 ± 1 ^{ab}	7 ± 1 ^{ab}	6 ± 2 ^{ab}	7 ± 2 ^a	6 ± 2 ^b
ลักษณะ pragmav	6 ± 2 ^d	6 ± 1 ^{ab}	7 ± 1 ^{ab}	7 ± 1 ^a	6 ± 2 ^{ab}	7 ± 1 ^a	6 ± 2 ^{ab}
ความชอบโดยรวม	7 ± 2 ^a	7 ± 2 ^a	7 ± 2 ^a	7 ± 1 ^a	7 ± 1 ^a	7 ± 1 ^a	6 ± 2 ^a

a - d คะแนนทางด้านประสิทธิภาพสัมผัสในแต่ละแพร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ข. การทดสอบด้านประสิทธิภาพสัมผัสในขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องโดยใช้สเกลแบบ Just about right

จากการทดสอบทางด้านประสิทธิภาพสัมผัสในขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องโดยวิธีการใช้สเกลแบบ Just about right พบร่วมกับ ขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องสูตรที่ 1 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 มีคะแนนทางด้านประสิทธิภาพสัมผัสในด้านระดับความเค็มและกลิ่นเนยถ้วนที่อยู่ในระดับที่พอดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค (>70 เปอร์เซ็นต์) ส่วนคุณลักษณะทางด้านระดับความหวาน ความกรอบ และสีน้ำตาลมีระดับที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค คือ มีความหวานในระดับมาก มีความกรอบและสีน้ำตาลน้อย ส่วนสูตรที่ 2 มีระดับความเค็มอยู่ในระดับที่พอดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค (>70 เปอร์เซ็นต์) ส่วนระดับความหวาน ความกรอบ สีน้ำตาล และกลิ่นเนยถ้วนมีระดับที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค พบร่วมกับสูตรนี้มีคุณสมบัติข้างต้นในลักษณะน้อย ขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องสูตรที่ 5 พบร่วมกับความเค็มและสีน้ำตาลที่อยู่ในระดับที่พอดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค (>70 เปอร์เซ็นต์) ส่วนระดับความหวาน ความกรอบ และกลิ่นเนยถ้วนมีระดับที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค คือมีปริมาณที่น้อย ขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องสูตรที่ 6 พบร่วมกับความหวาน ความเค็ม สีน้ำตาลและกลิ่นเนยถ้วนอยู่ในระดับที่พอดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค (>70 เปอร์เซ็นต์) ส่วนระดับความกรอบมีระดับที่ยังไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค คือ มีความกรอบในระดับน้อย และขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องสูตรที่ 7 พบร่วมกับความเค็ม สีน้ำตาลและกลิ่นเนยถ้วนที่อยู่ในระดับที่พอดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค (>70 เปอร์เซ็นต์) ส่วนระดับความหวาน และความกรอบมีระดับที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค คือมีระดับที่น้อย

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบด้านประสิทธิภาพสัมผัสของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะต่างๆ ของขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องรูปแบบแท่ง โดยใช้การทดสอบการใช้สเกลแบบ Just about right

สูตร	รส	ระดับรสชาติ (ร้อยละ, จำนวน)				
		น้อยไป	น้อย	พอดี	มาก	มากไป
1	หวาน	0 (0.0)	2 (6.7)	16 (53.6)	12 (40.0)	0 (0.0)
	เค็ม	0 (0.0)	5 (16.7)	25 (83.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
	กรอบ	0 (0.0)	18 (60.0)	11 (36.6)	1 (3.3)	0 (0.0)
	สีน้ำตาล	1 (3.3)	9 (30.0)	18 (60.0)	2 (6.7)	0 (0.0)
	กลิ่นเนยถั่ว	0 (0.0)	8 (26.7)	22 (73.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
2	หวาน	0 (0.0)	8 (26.7)	17 (56.7)	5 (16.7)	0 (0.0)
	เค็ม	0 (0.0)	1 (3.3)	28 (93.3)	1 (3.3)	0 (0.0)
	กรอบ	0 (0.0)	18 (60.0)	11 (36.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
	สีน้ำตาล	4 (13.3)	5 (16.7)	19 (63.3)	2 (6.7)	0 (0.0)
	กลิ่นเนยถั่ว	2 (6.7)	7 (23.3)	19 (63.3)	2 (6.7)	0 (0.0)
3	หวาน	0 (0.0)	4 (13.3)	19 (63.3)	7 (23.3)	0 (0.0)
	เค็ม	0 (0.0)	1 (3.3)	28 (93.3)	1 (3.3)	0 (0.0)
	กรอบ	0 (0.0)	12 (40.0)	18 (60.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	สีน้ำตาล	0 (0.0)	6 (20.0)	18 (60.0)	5 (16.7)	1 (3.3)
	กลิ่นเนยถั่ว	2 (6.7)	2 (6.7)	26 (86.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
4	หวาน	0 (0.0)	5 (16.7)	19 (63.3)	6 (20.0)	0 (0.0)
	เค็ม	1 (3.3)	1 (3.3)	26 (86.7)	2 (6.7)	0 (0.0)

	กรอบ	0 (0.0)	16 (53.6)	14 (46.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
	สีน้ำตาล	0 (0.0)	4 (13.3)	15 (30.0)	1 (3.3)	0 (0.0)
	กลิ่นเนยถั่ว	3 (10.0)	0 (0.0)	24 (80.0)	3 (10.0)	0 (0.0)
5	หวาน	0 (0.0)	9 (30.0)	15 (50.0)	6 (20.0)	0 (0.0)
	เค็ม	0 (0.0)	1 (3.4)	27 (90.0)	2 (6.7)	0 (0.0)
	กรอบ	0 (0.0)	15 (30.0)	15 (30.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	สีน้ำตาล	0 (0.0)	6 (20.0)	23 (76.7)	1 (3.3)	0 (0.0)
	กลิ่นเนยถั่ว	0 (0.0)	15 (30.0)	15 (30.0)	0 (0.0)	0 (0.0)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบด้านประสาทสมัพสของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะต่างๆของขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องรูปแบบแท่งโดยใช้การทดสอบการใช้สเกลแบบ Just about right (ต่อ)

สูตร	รส	ระดับรสชาติ (ร้อยละ, จำนวน)				
		น้อยไป	น้อย	พอดี	มาก	มากไป
6	หวาน	0 (0.0)	5 (16.7)	21 (70.0)	4 (13.3)	0 (0.0)
	เค็ม	0 (0.0)	3 (10.0)	27 (90.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	กรอบ	0 (0.0)	10 (33.3)	20 (66.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
	สีน้ำตาล	0 (0.0)	6 (20.0)	22 (73.3)	2 (6.7)	0 (0.0)
	กลิ่นเนยถั่ว	0 (0.0)	6 (20.0)	22 (73.3)	2 (6.7)	0 (0.0)
7	หวาน	0 (0.0)	9 (30.0)	15 (50.0)	6 (20.0)	0 (0.0)
	เค็ม	0 (0.0)	3 (10.0)	24 (80.0)	3 (10.0)	0 (0.0)

กรอบ	0 (0.0)	15 (30.0)	15 (30.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
สีน้ำตาล	0 (0.0)	2 (6.7)	25 (83.3)	3 (10.0)	0 (0.0)
กลิ่นเนยถั่ว	2 (6.7)	3 (10.0)	25 (83.3)	0 (0.0)	0 (0.0)

จากการพัฒนาขั้นบทเครื่องข้าวกล้องทั้ง 7 สูตร พบร่วมกับเครื่องข้าวกล้องแต่ละสูตรมีระดับความพอดีที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของวัตถุดิบที่ต่างกันจะบ่งบอกถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละสูตรที่ต่างกันด้วย เช่น ปริมาณน้ำผึ้งที่ต่างกันจะส่งผลกระทบต่อระดับความพอดีด้านความหวานของผลิตภัณฑ์ต่างกันด้วย โดยจะเห็นว่าในสูตรที่ 5 และ 7 ผู้บริโภคให้คะแนนความหวานอยู่ในระดับที่น้อยเนื่องจากในสูตรดังกล่าวมีปริมาณน้ำผึ้งเพียง 8.0 กรัม ซึ่งเป็นระดับปริมาณน้ำผึ้งที่น้อยสุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ ส่วนสูตรที่ 1 และ 3 เป็นสูตรที่มีระดับความหวานมากไป เนื่องจากมีปริมาณน้ำผึ้งสูงสุดถึง 13.3 กรัม ทำให้ปริมาณน้ำผึ้งดังกล่าวทั้ง 8.0 และ 13.3 กรัม ไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ทั้งนี้ระดับของน้ำผึ้งที่มีความพอดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภคคือ 10.6 กรัมซึ่งทำให้ขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องมีความหวานที่พอดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

นอกจากนั้นพบว่า คะแนนที่ได้จากการทดสอบขนมขบเคี้ยวข้าวกล้องโดยวิธีการใช้สเกลแบบ Hedonic และการใช้สเกลแบบ Just about right มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ จากผลการทดสอบด้านประสิทธิภาพของผู้บริโภคต่อขnmขบเคี้ยวข้าวโดยการใช้สเกลแบบ Hedonic พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมของขnmขบเคี้ยวข้าวกล้องในสูตรที่ 6 คือ 7 คะแนน หรือชอบปานกลางซึ่งได้ผลจากการทดสอบด้านประสิทธิภาพโดยใช้สเกลแบบ Just about right พบว่าสูตรที่ 6 มีความกรอบน้อยไป ซึ่งหากมีการพัฒนาด้านความกรอบ คะแนนการยอมรับน่าจะมากขึ้นด้วย ทั้งนี้ทำให้ทราบว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญในด้านของความกรอบสำหรับขnmขบเคี้ยวข้าวกล้องเป็นอย่างมาก

4.2 การทดสอบการใช้พลาสมายีน (Cold Plasma) ในการลดเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำนมแพะดิบ

จากการตารางที่ 6 แสดงการนำน้ำมันแพะดิบมาประยุกต์ใช้กับพลาสมาเย็น (Cold Plasma) เพื่อลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำมันแพะดิบ พบว่า เมื่อฉาบพลาasmaเย็น (Cold Plasma) ให้กับตัวอย่างน้ำมันแพะดิบในระยะเวลาต่างๆ ที่ 0.5 และ 15 นาที มีจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (\log_{10} CFU ml⁻¹) อยู่ 5.7 5.6 และ 5.5 \log_{10} CFU ml⁻¹ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการฉาบพลาasmaเย็นให้แก่น้ำมันแพะดิบสามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดได้ 0.1 และ 0.2 \log_{10} CFU ml⁻¹ ในเวลา 5 และ 15 นาที ตามลำดับ และมีการรายงานว่า การประยุกต์ใช้พลาasmaเย็นเพื่อลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียในอาหารมักมีข้อจำกัดกับอาหารที่เป็นของเหลว ทำให้การนำน้ำมันแพะดิบมาประยุกต์ใช้กับพลาasmaเย็น (Cold Plasma) เพื่อลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำมันแพะดิบซึ่งเป็นของเหลวมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้กับอาหารที่เป็นของแข็ง

ตารางที่ 6 การใช้พลาสม่าเย็น (Cold Plasma) ในการลดเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำนมแพะดิบ

ระยะเวลา	จำนวนเชื้อแบคทีเรีย (\log_{10} CFU ml ⁻¹)
0 นาที (control)	5.7±0.02
5 นาที	5.6±0.11
15 นาที	5.5±0.04

4.3 การทำให้เข้มข้นด้วยการหุงข้าวกล้องกับน้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์

การหุงข้าวกล้องกับน้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่เลือกใช้ในการทดลอง ทำโดยหุงข้าวกล้องกับน้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์และน้ำเปล่าในอัตราส่วนต่างๆ พบร่วม อัตราส่วนของข้าวกล้อง : น้ำนมแพะ : น้ำเปล่าคือ 1:2:0 1:1:1 1:0.75:1.25 1:0.5:1.5 และ 1:0.25:1.75 ปรากฏว่าใช้เวลาในการหุงนาน 78 73 78 77 และ 70 นาที ตามลำดับ และ มีผลผลิตร้อยละเท่ากับ 40.18 51.65 58.34 69.56 และ 73.21 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อสัดส่วนของน้ำนมแพะที่ลดลงทำให้ระยะเวลาในการหุงข้าวมีแนวโน้มที่น้อยลง แต่มีร้อยละผลผลิตที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากสัดส่วนของน้ำนมแพะที่ลดลงและสัดส่วนของน้ำเปล่าที่เพิ่มขึ้นทำให้ข้าวกล้องภายหลังการหุงมีความชื้นที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของน้ำเปล่าและเมื่อนำมาคำนวณหาค่าวิร้อยละผลผลิตทำให้มีร้อยละผลผลิตที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การหุงข้าวกล้องกับน้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์และน้ำเปล่าในอัตราส่วนต่างๆ ระยะเวลาที่ใช้และผลผลิตร้อยละ (% yield)

อัตราส่วน ข้าวกล้อง : น้ำนมแพะ : น้ำเปล่า (กรัม)	เวลา (นาที)	ผลผลิตร้อยละ (% yield)
1 : 2 : 0	78	40.18
1 : 1 : 1	73	51.65
1 : 0.75 : 1.25	78	58.34
1 : 0.50 : 1.50	77	69.56
1 : 0.25 : 1.75	70	73.21

5 สรุปผลการทดลองการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีเรียลข้าวกล้องสำหรับเด็ก

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีเรียลข้าวกล้องรูปแบบแห่งพบว่า ผลิตภัณฑ์ชีเรียลข้าวกล้องแบบแห่งที่มีส่วนผสมของ ข้าวไข่ขาวครึ่นปริมาณ 31.8 กรัม ลูกเกด 10.6 กรัม น้ำผึ้ง 10.6 กรัม สับปะรด 10 กรัม เนยถั่ว 10 กรัม น้ำนมข้าว 40 กรัม และงาดำ 3 กรัม เป็นสูตรที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุด โดยมีระดับคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 7 คือ ชอบมาก และการหุ่งข้าวเพื่อให้ได้ข้าวกล้องเพื่อนำมาทำขนมขบเคี้ยวพบว่าควรหุงในอัตราส่วน ข้าวกล้อง : น้ำนมแพะ : น้ำเปล่า (กรัม) ที่ 1 : 0.25 : 1.75

6 ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่นๆที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจากข้าวไข่ขาวครึ่น

6.1 ไอศกรีมข้าวกล้องไข่ขาวครึ่น



ส่วนผสม

- ข้าวไข่ขาวครึ่นหุงสุก 2 ถ้วยตวง
- น้ำกะทิสด 2 ถ้วยตวง
- น้ำตาลทราย 4 ช้อนโต๊ะ
- เกลือป่น $\frac{1}{2}$ ช้อนชา

วิธีทำ

- นำเมล็ดข้าวสารของข้าวกล้องไข่ขาวครึ่นไปแข็งในน้ำสะอาดเป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปหุงเป็นข้าวสุกโดยใช้หม้อหุงข้าว

- นำส่วนผสมทั้งหมดคือข้าวกล้องไข่ขาวครึ่นหุงสุก น้ำกะทิสด น้ำตาลทราย และเกลือป่น ใส่ลงในเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วจึงทำการปั่นส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันจนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและมีลักษณะเนียนและข้นเล็กน้อย

- นำส่วนผสมทั้งหมดเทใส่กล่องพลาสติกและฝาปิด จากนั้นจึงนำไปแช่แข็งในตู้เย็นที่ช่องแช่แข็งเป็นเวลา 1 คืน ก็จะได้ไอศกรีมข้าวกล้องไข่ขาวครึ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

6.2 คุกเก้ข้าวกล้องไข่เม็ดริん



ส่วนผสม

ข้าวกล้องไข่เม็ดริน (ข้าวสาร) บดละเอียด $2\frac{1}{2}$ ถ้วยตวง

แป้งสาลีเอนกประสงค์ 2 ถ้วยตวง

น้ำตาลทรายขาว 6 ช้อนโต๊ะ

ข้าวตอกจากข้าวกล้องไข่เม็ดริน $\frac{1}{2}$ ถ้วยตวง

เนยจืด 1 ก้อน (227 กรัม) แต่ต้องแบ่งเนยจืดออกมาเล็กน้อยเพื่อใช้สำหรับทาบนถาดเวลาอบ

ไข่ไก่ 1 พอง

ผงฟู $\frac{1}{2}$ ช้อนชา

เกลือ $\frac{1}{2}$ ช้อนชา

วิธีทำ

1. นำข้าวกล้องไข่เม็ดริん (ข้าวสาร) มาบดละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรง จากนั้นจึงนำไปผสมกับแป้งสาลี ผงฟู เกลือ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงทำการร่อนอีกครั้งและพักไว้
2. นำเนยจืดและน้ำตาลทรายข้าวมาผสมและนวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำไปปั้น成形ให้เป็นรูปทรงต่างๆ ตามต้องการหรือเทลงในพิมพ์ แล้ววางลงในถาดที่ทาเนยเอาไว้ ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 8-10 นาที ก็จะได้คุกกี้ข้าวกล้องไข่เม็ดริん
3. นำไปโรยในส่วนผสมและทำการนวดให้เป็นเนื้อเดียวกันหลังจากนั้นจึงนำไปหยอดกับแป้งสาลี ไปแล้ววัดให้เข้ากัน
4. นำส่วนผสมที่ได้มาเป็นปันเป็นรูปต่างๆ ตามต้องการหรือเทลงในพิมพ์ แล้ววางลงในถาดที่ทาเนยเอาไว้ ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 8-10 นาที ก็จะได้คุกกี้ข้าวกล้องไข่เม็ดริん

6.3 ข้าวเกรียบข้าวกล้องไข่เม็ดรินรสต้มยำ



ส่วนผสม

ข้าวกล้องไข่เม็ดริน (ข้าวสาร) บดละเอียด 200 กรัม

แป้งมัน 300 กรัม

กระเทียมบด 10 กรัม

พริกไทยป่น 10 กรัม

เกลือ 10 กรัม

น้ำตาลทราย 5 กรัม

แป้งสาลี $1\frac{1}{2}$ ช้อนโต๊ะ

รากผักชีปัน 2 กรัม

ผงปรุงรสสตัมป์ยำ

วิธีทำ

1. นำข้าวกล้องไข่เม็ดรินที่บดละเอียดแล้วมาผสมกับแป้งมันให้เป็นเนื้อดีเยากัน
2. เติมกระเทียมบด พริกไทยป่น เกลือ น้ำตาลทราย แป้งสาลี และรากผักชีปันลงในผสมให้เข้ากัน นำแป้งที่เตรียมได้มาวดให้เข้ากันโดยการใส่น้ำอุ่นลงในผสมแล้วทำการปั้นให้เป็นทรงกลม จากนั้นจึงนำไปนึ่งให้สุก โดยใช้เวลาในการนึ่งประมาณ 1 ชั่วโมง โดยใช้ไฟปานกลาง
3. นำแป้งที่นึ่งสุกแล้วพักไว้ให้เย็น ก่อนนำไปแช่ตู้เย็นเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นจึงนำไปปั้นข้าวเกรียบที่ได้มาทำ การหั่นเป็นแผ่นๆบาง แล้วนำอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปทอด โดยวิธีการทอดจะต้องตั้ง กระทะใส่น้ำมันลงบนไฟอ่อนๆ และรอจนน้ำมันร้อนได้ทีถึงนำข้าวเกรียบลงไปทอด
4. นำข้าวเกรียบที่ทอดเสร็จแล้วมาทำการคลุกเคล้ากับผงปรุงรสสตัมป์ยำ และเพิ่มกลิ่นหอมด้วยพริก ตะไคร้ และใบมะกรูดทอด

6.4 น้ำข้าวกล้องไข่เม็ดรินงอก



ส่วนผสม

ข้าวกล้องไข่เม็ดรินงอก 50 กรัม

น้ำเปล่า 5 ถ้วย

เกลือป่น $\frac{1}{2}$ ช้อนชา

วิธีการทำ

- นำเมล็ดข้าวกล้องไปขึ้มดรีนมาทำการแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชม. เมื่อครบกำหนดเวลาจึงล้างด้วยน้ำสะอาดก่อนจะทำการสะเด็ดน้ำให้แห้ง แล้วนำไปเทไส่กล่องพลาสติกที่มีฝาปิด กีบไว้ในที่มีดเป็นเวลา 6 ชม. เมื่อครบกำหนดนำข้าวกล้องมาล้างอีกครั้งแล้วนำไปเก็บในที่มีดอีก 14 ชม. ซึ่งเมื่อครบเวลาจะเห็นรากข้าวกล้องไปขึ้มดรีนออกอกมาจากเมล็ดข้าวดังภาพด้านล่าง



- นำข้าวกล้องไปขึ้มดรีนออกที่เตรียมได้มาล้างน้ำอีกครั้ง ก่อนนำไปใส่ในเครื่องปั้นน้ำผลไม้ จากนั้นจึงเติมน้ำสะอาดลงไปเพื่อทำการปั้นผสมให้เข้ากัน และจึงนำไปกรองลงในหม้อ จากนั้นจึงนำไปตั้งไฟอ่อนๆ ประมาณ 30 นาที

6.5 ทองม้วนสดจากข้าวกล้องไข่ขุ่นดรีน



ส่วนผสม

แป้งมัน 1 ถ้วยตวง

ข้าวกล้องไข่ขุ่นดรีนบดละเอียด $1\frac{1}{2}$ ถ้วยตวง

แป้งข้าวเจ้า 2 ถ้วยตวง

น้ำตาลปีบ 4 ช้อนโต๊ะ

งาดำ 1 ช้อนโต๊ะ

เกลือป่น 1 ช้อนชา

น้ำกะทิ 3 ถ้วยตวง

ไข่ไก่ 4 พอง

น้ำใบเตยสด 2 ถ้วย

วิธีการทำ

1. นำน้ำกะทิผสมกับน้ำตาลปีบและเกลือป่น จากนั้นจึงนำไปตั้งไฟอ่อนๆ เคี่ยวนจนน้ำตาลปีบละลาย แล้วจึงทิ้งไว้ให้เย็น

2. นำข้าวกล้องไข่มดรืน (ข้าวสาร) มาบดละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรง และพักไว้

3. จากนั้นทำการผสมส่วนที่เป็นแป้งโดยน้ำแป้งข้าวเจ้าตามด้วยแป้งมันและข้าวกล้องไข่มดรืนบดละเอียดผสมให้เข้ากัน แล้วจึงทำการตอกไข่ใส่ลงไป

4. เมื่อแป้งผสมกับไข่จะเกิดลักษณะการจับตัวเป็นก้อนซึ่งจะต้องทำการปีบให้ก้อนแป้งเกิดการแตกกระจายตัวออกมาก

5. จากนั้นจึงค่อยๆเติมน้ำกะทิที่เตรียมไว้โดยเติมทีละน้อยๆแล้ววนด้วยไม้พายให้เข้ากันแทน แล้วจึงเติมน้ำใบเตยสดลงไปผสมและคนจนเนื้อแป้งมีลักษณะข้นเหลว นำส่วนผสมที่ผสมเสร็จแล้วมากรองด้วยตะแกรงแล้วทำการคนผสมกันอีกครั้งก่อนนำ去做成形

6. ท่าน้ำมันพีชลงบนกระทะแบบ รอจนร้อนจึงหยดแป้งที่เตรียมไว้ลงไป รอจนสุกซึ่งดูได้จากแผ่นแป้งจะมีการพองตัวขึ้นมาและขอบแผ่นแป้งจะมีสีน้ำตาลอ่อนๆ แล้วจึงทำการม้วนในขณะที่ข้มยังร้อน

เอกสารอ้างอิง

งานชื่น คงเสรี. (2546). ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

เทพรัตน์ จันทพันธุ์. (2546). การดำเนินอย่างพันธุ์ข้าวพื้นเมืองชุมชนบางแก้ว อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล).

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. (2553). ข้าวไข่มดรืนสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 31.

สำเริง แซ่ตัน, สมนึก หนูนิม. (2534). พันธุ์ข้าวดี ที่นี่...ภาคใต้ การสัมมนาทางวิชาการข้าวภาคใต้ครั้งที่ 4 ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง และสถานีทดลองเครือข่าย 18 กุมภาพันธ์ 2534.

Bevilacqua, C., Helbling, J. C., Miranda, G., & Martin, P. (2006). Translational efficiency of casein transcripts in the mammary tissue of lactating ruminants. *Reproduction Nutrition Development*, 46(5), 567-578.

- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., & Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1–2), 88-113.
- Ribeiro, A. C., & Ribeiro, S. D. A. (2010). Specialty products made from goat milk. *Small Ruminant Research*, 89(2–3), 225-233.
- Richard, J. (1994). The Industrial Archaeology of the Twentieth Century. *Spring*, 16(20), 196-215.
- Sheehan, J. J., Patel, A. D., Drake, M. A., & McSweeney, P. L. H. (2009). Effect of partial or total substitution of bovine for caprine milk on the compositional, volatile, non-volatile and sensory characteristics of semi-hard cheeses. *International Dairy Journal*, 19(9), 498-509.



ภาพพนวกที่ 1 ข้าวสารกล้องไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3



ภาพพนวกที่ 2 ข้าวกล้องไข่เม็ดริ้นสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 หลังการหยอดด้วยน้ำมันที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส
ระยะเวลา 20 วินาที



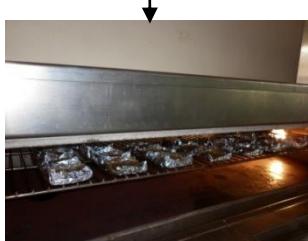
ชั้งวัตถุดิบที่เป็นของแห้งและของเหลว



ผสมวัตถุดิบที่เป็นของแห้งและของเหลวในกระทะ



นำผลิตภัณฑ์ซีเรียลอัดในพิมพ์สแตนเลส



นำไปปั่นที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส 15 นาที



ผลิตภัณฑ์ซีเรียลข้าวกล้องที่ผ่านการอบ



ผลิตภัณฑ์ซีเรียลข้าวกล้องพร้อมบริโภค

ภาพผนวกที่ 3 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ซีเรียลข้าวกล้องไปมดรีน

2. การศึกษาปรับปรุง และพัฒนาวิธีการ กระบวนการผลิตเพื่อยieldอายุผลิตภัณฑ์น้ำดอกอัญชัน และถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ผู้ประกอบการ (ร้านเรือนผักฤดู) อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช

โดย อ.ดร.ทนง เอี่ยวศิริ

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยลักษณ์ 222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160

หลักการและเหตุผล

“น้ำสมุนไพร” เป็นเครื่องดื่มที่เตรียมได้จากการนำสมุนไพรมาเป็นวัตถุติดในการผลิต ซึ่งนอกจากช่วยในการช่วยดับกระหายแล้ว ผู้บริโภคยังได้รับฤทธิ์ทางยาของสมุนไพรซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย “น้ำดอกอัญชัน” เป็นเครื่องดื่มน้ำสมุนไพรหนึ่งที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากดอกอัญชันประกอบด้วยรงค์วัตถุ คือ แอนโโทไซานิน (Anthocyanin) จำนวนมาก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีฤทธิ์ทางยา จึงสามารถช่วยกระตุ้นการไหลเวียนของโลหิตช่วยให้เลือดสามารถไปเลี้ยงส่วนต่างๆได้ดีขึ้น มีผลในการบำรุงสายตา แก้อาการเหน็บชา ช่วยลดความเสี่ยงของโรคเส้นเลือดในสมองตีบได้อีกทั้งน้ำดอกอัญชันยังสามารถทำเพื่อรับประทานเองได้ง่าย และยังสามารถทำจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้เสริม

อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปมักพบว่า น้ำดอกอัญชันผลิตตามครัวเรือนนั้นมักมีอายุการเก็บที่สั้น และมีการลดลงของคุณภาพด้านสี กลิ่น และรสชาติที่รวดเร็ว โดยจะมีอายุการบริโภคได้เพียงประมาณ 3 วันที่อุณหภูมิห้อง และ 1 สัปดาห์ในการเก็บรักษาในที่ 4 องศาเซลเซียส ดังนั้นศึกษาการพัฒนาวิธีการ หรือ กระบวนการผลิต น้ำดอกอัญชัน โดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น การผลิตตามวิธีการหลักเกณฑ์ในการผลิตที่ดี (GMP: Good Manufacturing Practice) การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน การผลิตและบรรจุด้วยหลักการปลอดเชื้อ (Aseptic Technique) เพื่อยieldอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำดอกอัญชัน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เพื่อที่จะช่วยส่งเสริมการสร้างรายได้ให้กับผู้ที่สนใจในการผลิต รวมถึงเสริมสร้างสุขภาพที่ดีให้กับผู้บริโภค นอกจากนี้แนวทางการพัฒนาที่ได้ยังอาจต้องอาศัยความรู้เพื่อนำมาใช้ในการประยุกต์ใช้กับเครื่องดื่มสมุนไพรชนิดอื่นๆต่อไป

ทบทวนวรรณกรรม

1 ดอกอัญชัน (พิชานันท์ ลีแก้ว, 2557)

อัญชัน (butterfly pea หรือ blue pea) เป็นพืชล้มลุก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Clitoria ternatea* Linn. ซึ่งจัดเป็นพืชترรากถั่ว อยู่ในวงศ์ Fabaceae ในกลุ่มถั่วฝักเมล็ดกลม (pea) เช่น ถั่วลันเตา (green pea) ถั่วแรระตัน (congo pea) ถั่วพู (manila pea) เป็นพืชที่มีต้นกำเนิดอยู่ในประเทศไทยตั้งแต่โบราณ โดยทั่วไปนิยมปลูกในเขตตอนลักษณะต้นเป็นไม้เลื้อยขนาดเล็ก ใบเป็นใบประกอบ ดอกอัญชัน เป็นดอกเดี่ยว มีสีน้ำเงินเข้ม หรือน้ำเงินอมม่วง

และสีขาว ดอกชั้นในแบ่งเป็น 5 กลีบ กลีบนอกมีสีเขียวมีผลเป็นฝัก ลักษณะแบบคล้ายฝักถั่ว ขนาดยาวประมาณ 5-10 ซม.

โดยทั่วไปนอกจาก ส่วนของดอกอัญชันแล้ว ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางเครื่องสำอาง หรือใช้เป็นสีผสมอาหารและเครื่องดื่ม แท้จริงแล้วสรรพคุณของอัญชัน สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งต้น ซึ่งการใช้อัญชันเป็นยาพื้นบ้านนั้น ส่วนมาก ใช้ฟันเอาน้ำหยอดตา แก้ตาเจ็บ ตา发 บำรุงดวงตา หรือผสมทำยาสีฟัน แก้ปวดฟัน และใช้ต้มน้ำดื่มเป็นยา早日หายท้อง ขับปัสสาวะ แก้ปัสสาวะพิการ ใบและราก ฝนเอาน้ำหยอดตา แก้ตาและ ตา发 ดอก ตำเป็นยาพอก หรือคั้นเอาน้ำท้าแก้ฟกบวม แก้พิษแมลงกัดต่อย และใช้สารผสมเป็นยาแก้ผื่นร่วง เมล็ด ใช้กินเป็นยา早日หายท้อง นอกจากนี้ การใช้ประโยชน์ในต่างประเทศ ตามตำราอายุรเวทศาสตร์ของอินเดีย อัญชันถูกจัดอยู่ในหมวดหมู่พืชที่มีสรรพคุณบำรุงสมอง โดยได้มีการนำส่วนรากและเมล็ดของอัญชันมาใช้เป็นยาสำหรับบำรุงร่างกาย บำรุงสมอง และบำรุงความจำ รวมถึงใช้เป็นยา早日หายและขับปัสสาวะ และในแถบอเมริกามีรายงานการใช้น้ำต้มจากส่วนรากเพียงอย่างเดียวหรือน้ำต้ม จากรากและดอกร่วมกันเป็นยาบำรุงโลหิต ส่วนเมล็ดใช้เป็นยา早日หาย ขับปัสสาวะ และขับพยาธิ

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาจากส่วนต่างๆ ของอัญชันเป็นจำนวนมาก มีการทดสอบในสัตว์ทดลอง สารสกัดชนิดต่างๆ ที่ได้จากส่วนลำต้นหนีอดิน ใน ดอก และรากของอัญชันมีฤทธิ์ระตุนการเรียนรู้และความจำ ช่วยคลายความเครียดและวิตกกังวล มีฤทธิ์ช่วยในการนอนหลับ ลดน้ำตาลในเลือด แก้ไข้ แก้ปวด และต้านการอักเสบ รวมถึงการใช้ประโยชน์ในด้านเครื่องสำอางก็มีงานวิจัยที่สนับสนุนว่า สารสกัดเอothanol จากการอัญชันมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ 5 α -reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ยับยั้งการเจริญของเส้นขน และมีฤทธิ์ระตุนการออกของเส้นขนของหนูแรท นอกจากนี้ สารสกัดเมทานอลจากดอกอัญชันยังมีฤทธิ์ระตุนการทำงานของเอนไซม์ tyrosinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเซลล์เม็ดสี melanin และกระตุนการเพิ่มจำนวนของเซลล์ melanocyte เมื่อทำการทดสอบในหลอดทดลอง เมื่อว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาจำนวนมาก

แต่งานวิจัยทั้งหมดยังเป็นข้อมูลที่ศึกษาในระดับสัตว์ทดลองไม่มีรายงานการ วิจัยในคน จึงยังไม่สามารถระบุขนาดและวิธีใช้ที่เหมาะสมได้ แต่ในประเทศไทยนั้น มักพบการใช้ประโยชน์ของดอกอัญชันเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ เครื่องสำอางบาง ชนิด และใช้สีจากดอกเป็นส่วนผสมในนมและอาหาร หรือใช้ดอกแห้งชงเป็นเครื่องดื่ม ซึ่งการใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคควรระวังการรับประทานร่วมกับยาที่มี ฤทธิ์ต้านการเก lokale กลุ่มของเกล็ดเลือดหรือยาป้องกันการแข็งตัวของเลือด เช่น แอสไพริน และ warfarin เป็นต้น เนื่องจากมีรายงานว่าสาร ternatin D1 ในดอกอัญชันมีฤทธิ์ต้านการเก lokale กลุ่มของเกล็ดเลือด ซึ่งอาจมีผลเสริมฤทธิ์กันจนเกิดอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นผู้ที่ต้องใช้ยาตังกล่าวเป็นประจำ หากต้องการบริโภคดอกอัญชันในรูปแบบเครื่องดื่มหรือชาชง ไม่ควรชงในขนาดความเข้มข้นมาก และไม่ควรดื่มแทนน้ำ ส่วนข้อควรระวังสำหรับการใช้ภายนอกร่างกายคือ ควรระมัดระวังในผู้ที่มีอาการแพ้ดอกไม้ชนิดต่างๆ ให้หมั่นสังเกตตนเอง หากใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของอัญชันแล้วก่อให้เกิดอาการระคายเคืองหรือแพ้ ใช้

2. การผลิตน้ำสมุนไพร

โดยทั่วไป การผลิตน้ำสมุนไพร สามารถทำได้ ดังนี้

2.1 การคัดเลือกและการทำความสะอาด คัดเลือกเพื่อให้ได้ใบที่มีความสดที่เท่ากันเพื่อให้มีสีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่คงที่ ใบสดที่ได้จะถูกนำมาแบ่งคัดแยกเพื่อเอาสิ่งเศษสกรกออก เพื่อช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์และสิ่งเจือปนที่ติดมากับใบ

2.2 การสกัดน้ำสมุนไพร เพื่อให้ได้สารสำคัญที่มีอยู่ภายในสมุนไพร โดยการดำเนินจะขึ้นกับลักษณะของสมุนไพร เช่น เป็นแบบสดหรือแห้ง เป็นส่วนใดของพืช (หัว ราก ใบ ดอก ผล เปลือก) โดยการสกัดจะประกอบด้วย

- การใช้กระบวนการทางกายภาพ เช่น การสับ การคั้น และการให้ความร้อน เพื่อช่วยในการทำลายโครงสร้างเพื่อที่จะสามารถบีบคั้น ให้ได้น้ำสมุนไพรออกมา

- การใช้กระบวนการทางเคมี เช่น การใช้ตัวทำละลายในการสกัด ซึ่งโดยส่วนใหญ่ ตัวทำละลายที่นิยมใช้คือน้ำ ซึ่งสามารถทำโดยการนำสมุนไพรไปต้มด้วยน้ำ อย่างไรก็ตาม ตัวทำละลายในกลุ่มของ แอลกอฮอล์ เช่น เอทานอล ก็นิยมใช้เพื่อนำไปสกัดสารสำคัญของสมุนไพร

- การใช้กระบวนการทางชีวภาพ เป็นการปล่อยให้สมุนไพรเกิดการย่อยสารโครงสร้าง ซึ่งอาจโดยเอ็นไซม์ที่มีอยู่ หรือ เชื้อจุลทรีย์ที่เจริญขึ้น

2.3 การกรอง เพื่อทำให้น้ำสมุนไพรที่ได้มีความใสขึ้น

2.4 การบรรจุและใส่օากาศ เมื่อนำน้ำสมุนไพรที่ได้บรรจุลงในขวดแล้ว เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในน้ำสมุนไพรที่เกิดจากขั้นตอนการสกัด เพราะออกซิเจนจะทำให้น้ำสมุนไพรเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เรียกว่า ออกซิเดชัน (oxidation) การใส่օากาศสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อนโดยการบรรจุขณะร้อนลงในขวดหรือกระป๋องแล้วปิดผนึกฝาทันทีและใช้เครื่องดูดอากาศ (จิตราฯ และคณะ, 2543)

2.5 การฆ่าเชื้อ และการเก็บรักษาน้ำสมุนไพร วิธีการเก็บรักษาเพื่อให้น้ำสมุนไพรมีสภาพคงตัวมากที่สุดเป็นระยะเวลาโดยไม่เสื่อมเสียจากปฏิกิริยาทางเคมี จุลินทรีย์ เอนไซม์และโลหะ สามารถทำได้หลายวิธีเช่น การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) การพาสเจอร์ไรซ์เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่รุนแรงนักซึ่งมักทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งวิธีการนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และทำลายเชื้อจุลทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น เชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่าส์ร้างสปอร์ ยีสต์และรา โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านปราศจากสัมผัสและคุณค่าของอาหารน้อยที่สุด โดยการใช้ความร้อนที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และราได้ ถ้าต้องการทำลายเพียงเซลล์ยีสต์ อาจใช้ความร้อนเพียง 60-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการพาสเจอร์ไรส์ไม่ได้เป็นการฆ่าเชื้อจุลทรีย์ที่มีอยู่ทั้งหมด ดังนั้นอาหารที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วต้องนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-

10 องศาเซลเซียส ความรุนแรงของการให้ความร้อนกับผลการยืดอายุผลิตภัณฑ์กำหนดได้โดยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการพาสเจอร์ไรซ์อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ($\text{pH} > 4.5$) คือ ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค ส่วนวัตถุประสงค์หลักในการพาสเจอร์ไรซ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูง ($\text{pH} > 4.5$) คือ การทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ส่วนการถนอมอาหารแบบอื่น ที่ใช้ควบคู่กับการพาสเจอร์ไรซ์ ได้แก่ การใช้ความเย็น การใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น การใช้น้ำตาลในnmขันหวาน การใช้กรด หรือการหมักเพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนองค์ประกอบในอาหาร เช่น เปลี่ยนแลกโตกไปเป็นกรดแลกติก หรือการบรรจุทึบห่อ เช่น รักษาสภาพไว้อาหารในขาดเบียร์จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น (วีไล, 2543)

3 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ อุปในวงอิเล็กตรอนวงนอกสุด (outer orbital) เนื่องจากการมีอิเล็กตรอนที่โดดเดี่ยว (unpaired electron) อุปในวงโคจรของโมเลกุลทำให้มีเสถียร ทำให้อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความไวในการเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นสูงมาก โดยอนุมูลอิสระจะไปแย่งจับหรือดึงเอาอิเล็กตรอนจากโมเลกุลหรืออะตอมสารที่อยู่ข้างเคียงเพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดมาใหม่นี้จะไปทำปฏิกิริยากับสารโมเลกุลอื่นต่อไป เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ต่อกันไปเรื่อยๆ โดยที่อนุมูลอิสระก็มีสมบัติเหมือนสารทั่วๆไป ตรงที่ความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความชื้น เป็นต้น

อนุมูลอิสระมีทั้งที่อยู่ในสภาพที่เป็นกลางทางไฟฟ้า และอนุมูลในสภาพที่มีประจุไฟฟ้า โดยมีทั้งประจุบวกและประจุลบ สัญลักษณ์ทางเคมีของอนุมูลอิสระ คือ อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะแสดง ด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น อนุมูล R^+ แทนอะตอมหรือโมเลกุลของอนุมูลอิสระที่ไม่จำเพาะเจาะจงซึ่งอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นประจุบวก (R^+) เช่นอนุมูล pyridinyl (NAD^+) และประจุลบ (R^-) เช่น อนุมูล superoxide (O_2^-) หรือเป็นกลาง เช่น อนุมูล peroxyl (ROO^+) หรืออนุมูล thiyl (RS^+) เป็นต้น

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) (Gordon, 2001)

หมายถึง ปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากการโคลิ่งให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เรียกสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนว่า ตัวริดิวซ์ (Reducing agent) และเรียกสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนนี้ว่า ตัวออกซิเดช์ (oxidizing agent) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันมักจะเกี่ยวข้องกับออกซิเจน นอกจากนี้ ออกซิเดชันยังหมายถึงการเสียไฮโดรเจนอะตอมออกจากโมเลกุลอีกด้วย ปฏิกิริยาออกซิเดชันและอนุมูลอิสระนั้นมีความเกี่ยวข้อง เนื่องจากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดอนุมูลอิสระของสารต่างๆได้มากmayหลายชนิด และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอื่นๆเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป

ผลของอนุมูลอิสระต่อสุขภาพมนุษย์

อนุมูลอิสระสามารถเป็นสาเหตุหนึ่งที่บันดาลให้เกิดโรคในมนุษย์ได้ โดยผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยอนุมูลอิสระจะก่อให้เกิดความเสียหายกับส่วนประกอบในร่างกาย ได้แก่ ไขมัน โปรตีน หรือ ดีเอ็นเอ ได้ โดย หากเกิดการออกซิเดชันของไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์จะถูกทำลายทำให้เซลล์ตายเนื้อเยื่อเสื่อมสภาพ ถ้าเกิดที่โคเลสเตอรอลจะเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว หากเกิดที่โปรตีนจะทำโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ เช่น ทำให้เกิดรอยเที่ยวย่นตัวหด หรือ การชุ่นตัวลงของกระจากตา ถ้าเกิดที่ดีเอ็นเอจะทำให้ดีเอ็นเอถูกทำลายเกิดการเปลี่ยแปลงรหัสทางพันธุกรรมได้ ซึ่งทั้งหมดจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ

4 สารแอนต์ออกซิเดนท์จากพืช

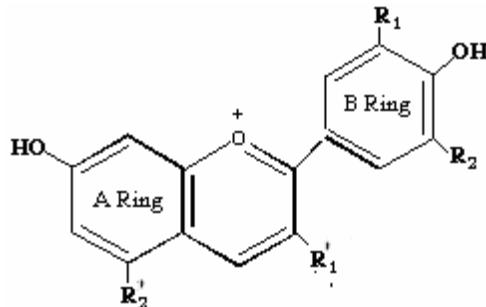
สารต้านอนุมูลอิสระจากพืช เป็นสารเคมีจากพืชที่ไม่ใช่วิตามินและสารอาหาร เช่น แคโรทีน ไลโคปีน แซนໂร์ฟิต แทนนิน และฟลาโวนอยด์ ซึ่งส่วนใหญ่ เป็นสารกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งประกอบด้วย aromatic ring ที่มี hydroxyl group ตั้งแต่ 1 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งสารเหล่านี้สามารถช่วยป้องกันการทำงานของอนุมูลอิสระและปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยในดอกอัญชัน สารแอนต์ออกซิเดนท์ที่พบ คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ซึ่งจะพบมากในผัก ผลไม้ และเครื่องดื่ม ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระขึ้นกับโครงสร้างของฟลาโวนอยด์นั้นๆ ฟลาโวนอยด์เป็น phenolic compound ที่พบในธรรมชาติ เช่น flavonol, flavones, flavonones, isoflavones, catechin, anthocyanins และ chalcones ซึ่งมีมากกว่า 4,000 ชนิดที่พบในผัก ผลไม้ และเครื่องดื่ม มีรายงานเกี่ยวกับฟลาโวนอยด์ว่ามีผลในการต้านเชื้อไวรัส ต้านอาการภูมิแพ้ ยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด ยับยั้งการอักเสบ ยับยั้งการเจริญของเนื้องอกและต้านอนุมูลอิสระได้ นอกจากนั้นฟลาโวนอยด์ยังสามารถช่วยลดหรือยับยั้งกระบวนการออกซิเดชันของคลอเรสเทอรอล LDL (เป็นคลอเรสเทอรอลที่ไม่ดี) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดหัวใจ ดังนั้นฟลาโวนอยด์จึงช่วยป้องกันไขมันจับกับหลอดเลือด ช่วยลดความดันโลหิตสูง และป้องกันกระบวนการออกซิเดชันของคลอเรสเทอรอล LDL (นันทยา, 2548)

5. แอนโทไซยานิน (Anthocyanins)

มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก คือ anthos หมายถึง ดอกไม้ และ kyanos หมายถึง สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็น $C_6C_3C_6$ เป็นรงควัตถุที่ละลายอยู่ใน vacuole sap ในเซลล์ของพืช (vacuole sap เป็นส่วนหนึ่งที่เห็นได้ชัดที่สุดในเซลล์พืชที่มีอายุมาก โครงสร้างจะมีเนื้อเยื่อหุ้มและภายในมีของเหลวบรรจุอยู่) ซึ่งมีบทบาทต่อสีในดอกไม้ โดยจะให้สีม่วงแดงไปจนถึงสีน้ำเงิน แอนโทไซยานินสามารถละลายได้ในน้ำแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภท non-hydroxyl เช่น acetone, chloroform และ ether แอนโทไซยานินเป็นอนุพันธ์ polyhydroxy และ polymethoxy ของสาร flavylium หรือ 2-phenylbenzopyrylium โนเมกุล

ประกอบด้วยแอนโทไซยานิน ที่เรียกว่า อะกลัยโคนลับตัวกับน้ำตาลด้วยพันธะ β -glycosidic และมักจับที่คาร์บอนตำแหน่งที่สาม น้ำตาลที่จับกับแอนโทไซยานินอาจเป็น monosaccharide ได้แก่ glucose, rhamnose, galactose, xylose หรือ arabinose หรือพาก disaccharide หรือ trisaccharide โดยเลกุลน้ำตาลมักถูก esterified ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามด้วยกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น p-coumaric, caffeic และ ferulic ซึ่งจะช่วยให้แอนโทไซยานินในพืชมีเสถียรภาพดีขึ้น (เกียรติศักดิ์, 2535)



ชื่อ	R ₁	R ₂	สี
Pelargonidin (Pg)	H	H	สีแดง
Cyanidin (Cy)	OH	H	
Peonidin (Pn)	OCH ₃	H	
Delphinidin (Dp)	OH	OH	สีม่วง
Petunidin (Pt)	OCH ₃	OH	สีม่วง
Malvidin (Mv)	OCH ₃	OCH ₃	สีม่วง

กลุ่ม Anthocyanins คือ Pg, Cy, Pn, Dp, Pt, Mv ซึ่งมี R_{1'} = O-sugar หรือ O-acylated sugar และ R_{2'} = OH หรือ O-sugar

สีของแอนโทไซยานินเกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างในตัวกลางนั้นๆ เมื่อแอนโทไซยานินอยู่ในสภาพสมดุลในสารละลายที่เป็นกรดมาก ($\text{pH} < 0.5$) อยู่ในรูปของ flavylium cation (red) เพียงชนิดเดียวซึ่งทำให้สารละลายมีสีแดง เมื่อความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นจนอยู่ในสภาพว่างที่เป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลางปริมาณ flavylium cation จะเริ่มลดลงเนื่องจากการเกิด hydration ไปเป็น carbinol base ซึ่งไม่มีสี ส่วนสมดุลระหว่างแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของ flavylium cation และ quinoidal base (anhydro base) จะเกิดสมดุลที่ pK เท่ากับ 4.25 ดังนั้นมีเมื่อแอนโทไซยานินอยู่ในสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 4.5 ขึ้นไปหรือในสภาพว่างที่เป็นเบสจึงมีเฉพาะโครงสร้างของ carbinol base และ chalcone ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่มีสีและโครงสร้างของ quinoidal base ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีสีน้ำเงินทำให้สารละลายมีสีน้ำเงิน

ผลของสภาพแวดล้อมต่อความคงตัวของแอนโทไชyanin

การเสียสภาพของแอนโทไชyaninจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ได้แก่

1. ค่า pH โดยทั่วไปแอนโทไชyaninจะค่อนข้างมีความคงทั่วทุกสภาพพิเศษ อย่างไรก็ตามแต่ถ้าอยู่ในรูปแอนโทไชyaninดิน ค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในสภาวะที่เป็นกรด 1-5 แต่เมื่อเข้าใกล้สภาวะที่เป็นกลางความคงตัวจะลดลงจนกระทั่งเกิดการสลาย

2. อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาจะมีผลแอนโทไชyaninถูกทำลาย โดยจากการศึกษาของ Maccarone และคณะ (1985) ศึกษาความคงตัวของแอนโทไชyaninในน้ำส้มที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการเสื่อมเสียเกิดเป็น 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส

3.ออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจน จะมีผลทำให้แอนโทไชyaninเกิดการออกซิเดชันได้ ซึ่งส่งผลทำให้ flavylium cation ซึ่งมีสีแดงน้ำเงินลดลง

4. กรดแอกสคอร์บิก โดยปกติกรดแอกสคอร์บิกสามารถเกิดการออกซิเดชันได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน คوبเปอร์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการจางลงของสีแอนโทไชyanin

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำดอกอัญชัน

2. เพื่อศึกษาแนวทางการยืดอายุผลิตภัณฑ์น้ำดอกอัญชัน

3. เพื่อนำวิธีการที่เหมาะสมจากการศึกษาไปถ่ายทอดแก่ผู้ประกอบการ และชุมชนที่สนใจ

สถานที่ดำเนินการทดลอง

ร้านอาหาร “เรือนผักฤดู” อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช และ ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร อาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยลักษณ์ ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช

วิธีการทดลอง

1. การสำรวจสถานที่ผลิต และกรรมวิธีการผลิตน้ำดอกอัญชันจากผู้ประกอบการเบื้องต้น

โดยทำการตรวจสอบแวดล้อมในกระบวนการผลิต โดยเปรียบเทียบกับหลักปฏิบัติที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP: Good Manufacturing Practice) ซึ่งเป็นหลักที่สำคัญที่จะช่วยให้อาหารที่ผลิตได้มีความปลอดภัย จากนั้น ศึกษาระบบที่ดีในการผลิตน้ำดอกอัญชันตามที่ผู้ประกอบการใช้ เพื่อใช้เป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับการศึกษาต่อไป อีกทั้งใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะพัฒนาระบวนการผลิตที่ดีขึ้นต่อไป

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำดอกอัญชันในระหว่างการเก็บรักษา

น้ำดอกอัญชันจะถูกเตรียมขึ้นด้วยวิธีการที่ต่างกันดังนี้คือ

การเตรียมตัวอย่าง	สูตร/วิธีผลิตของร้าน	สูตรทั่วไป/วิธีผลิตของร้าน	สูตรทั่วไป/วิธีผลิต GMP
ส่วนผสม	น้ำเดือด 4 ลิตร ดอกอัญชันแห้ง 60 กรัม (มาจากดอกสด 200 กรัม) น้ำตาลราย 3 ชีด ใบเตย 30 กรัม	น้ำเดือด 4 ลิตร ดอกอัญชันสด 80 กรัม น้ำตาลราย 3 ชีด ใบเตย 30 กรัม	
การผลิต	-ผลิตในสถานที่เปิดโล่ง -ล้างอุปกรณ์ด้วยน้ำเปล่า	-ผลิตในอาคารแบบปิด -ล้างอุปกรณ์ด้วยน้ำเปล่า -อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง หลัง ขั้นตอนการต้ม จะต้อง ^{ลวกด้วยน้ำร้อน (ถุงรอง หม้อ)} -ภาชนะบรรจุล้วนน้ำร้อน	-ภาชนะบรรจุนึง 1 นาที -บรรจุ 250 ม.ล./ขวด

หมายเหตุ วิธีผลิต GMP คือ การผลิตโดยพยาบาลใช้หลักการการปลอดเชื้อ คือ ควบคุมการปนเปื้อนข้ามจากกระบวนการผลิตให้มากที่สุด

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และตู้เย็น เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์โดยจะนำมาประเมินคุณภาพเบื้องต้น ได้แก่ ค่า pH ลักษณะสี กลิ่นรส ทุกๆ 2 วันของการเก็บรักษา

3. การศึกษาผลของการปรับสภาพเป็นกรด ต่อเปลี่ยนแปลงของน้ำดอกอัญชันในระหว่างการเก็บรักษา

น้ำดอกอัญชันจะถูกเตรียมขึ้น โดยใช้สูตรทั่วไป ตามการผลิตแบบ GMP โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด คือ ชุดที่ไม่มีการปรับ pH (ชุดควบคุม) และ ชุดที่มีการปรับ pH ด้วยน้ำมะนาวาเป็น 2.5 และ 4.5 (น้ำมะนาวเตรียมจากผงมะนาวต่อน้ำร้อน 50 กรัม ต่อน้ำ 100 กรัม) ทุกชุดการทดลองจะมีการปรับให้ปริมาตรเท่ากัน จำนวนน้ำไปเต็มขวดให้เดือนาน 15 นาที ทิ้งให้เย็น และบรรจุขวด 250 ม.ล. ตัวอย่างจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์โดยจะนำมาประเมินคุณภาพเบื้องต้น ได้แก่ ค่า pH ลักษณะสี กลิ่นรส ทุกๆ 2 วันของการเก็บรักษา

ผลและวิจารณ์ผล

1. การศึกษากรรมวิธีการผลิตน้ำดอกอัญชัน ของสถานประกอบการเรือนผักกุด

โดยทั่วไปในการทำน้ำดอกอัญชันนั้น มีวิธีการทำที่หลากหลายสูตร หลากหลายวิธีตามแต่ห้องถิน และความต้องการ อย่างไรก็ตามในการผลิตของร้านอาหาร เรือนผักกุด มีวิธีการทำที่แตกต่างจากทั่วไปในบางส่วนโดยมีขั้นตอนในการทำดังนี้

การเตรียมดอกอัญชัน

ดอกอัญชันสดจะถูกเก็บภายในสวน หรือ ซื้อจากตลาดใกล้เคียง จากนั้นจึงนำมาตากให้แห้ง โดยอาศัยแสงแดด จำนวน 2 วัน ตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00-16.00 น. หรือจนกว่าจะแห้งดี ดอกอัญชันแห้งที่ได้จะถูกบรรจุในถุงพลาสติกเก็บไว้จนกว่าใช้งาน



การต้มน้ำดอกอัญชัน

เริ่มจากการต้มน้ำกรอง ปริมาตร 40 ลิตร จนเดือด จากนั้นจึงเติมดอกอัญชันแห้ง จำนวน 5-6 ชีด (มาจากดอกอัญชันสด 2 ก.ก.) พร้อมกับใบเตยหัน (ความเยาว์ประมาณ 3 นิ้ว) จำนวน 3 ชีด ต้มไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นจึงตักออก



เติมน้ำatalทราย จำนวน 3 ก.ก. และเติมน้ำกรองให้ครบ จำนวน 40 ลิตร ตั้งทึ่งไว้ให้เดือด นำไปกรอง จากนั้นทำให้เย็นโดยการแข่น้ำและให้น้ำປะปາไหลผ่าน



การเก็บรักษา

เมื่อเย็นแล้วนำน้ำอัญชันที่ได้บรรจุใส่ขวด ขนาด 1.5 ลิตร และ 250 มิลลิลิตร ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำร้อน และนำไปเก็บรักษาในตู้แข็งเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

โดยเบื้องต้น ผู้วิจัยสังเกตพบว่า สภาวะแวดล้อมในกระบวนการผลิตน้ำดอกอัญชันของผู้ประกอบการ ยังไม่มีการควบคุมอย่างดีเพียงพอตามหลัก GMP อันได้แก่

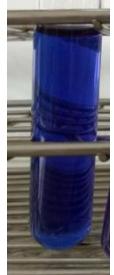
- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. สถานที่ตั้ง อาคารผลิต | ที่ไม่สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอกได้ |
| 2. เครื่องมือ อุปกรณ์ในการผลิต | ที่มีการใช้ผิดประเภท เช่น ใช้พลาสติกที่ไม่ทนร้อน |
| 3-4. สุขาภิบาลและการรักษาความสะอาด | ที่ไม่เพียงพอ |
| 5. กระบวนการผลิต | ที่ไม่มีการควบคุมน้ำหนัก ปริมาณ อุณหภูมิและเวลาที่แน่นอน |
| 6. บุคลากร | ที่ไม่เข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยของอาหาร |

ด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้ จึงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลทรรศ์ มีการซ่าเขื้อ(ด้วยการต้ม) ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลต่อความปลอดภัย และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำดอกอัญชันในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อเปรียบเทียบน้ำดอกอัญชันที่สุ่นได้จากร้านเรือนผักกุด เปรียบเทียบกับ น้ำดอกอัญชันที่ผลิตได้จากสูตรโดยทั่วไป โดยใช้กรรมวิธีการผลิตที่ต่างกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของน้ำดอกอัญชันที่ได้จากสูตรและวิธีการผลิตที่ต่างกัน

คุณลักษณะ	น้ำดอกอัญชัน		
	จากร้านเรือนผักกุด	สูตรทั่วไป/ผลิตตามร้าน	สูตรทั่วไป/ผลิตตาม GMP
ค่า pH	5-5.5	6-6.5	
ลักษณะสี	สีน้ำเงินเข้ม	สีน้ำเงินอมม่วงเล็กน้อย	
			
รสชาติ	มีกลิ่นรสของดอกอัญชันมาก แต่นีร涩 ขมเล็กน้อย	มีกลิ่นของดอกอัญชันปานกลาง	

คุณลักษณะ	น้ำดอกอัญชัน		
	จากร้านเรือนผักกุด	สูตรทั่วไป/ผลิตตามร้าน	สูตรทั่วไป/ผลิตตาม GMP
อายุการเก็บรักษา และการเสื่อมเสีย	- 4 วันที่ อุณหภูมิห้อง มีรสเปรี้ยว และกลิ่นหมัก มีเชื้อยีสต์ลอยบนผิว บางส่วนมีการเปลี่ยนสีเป็น สีชมพู และมี pH ที่ลดต่ำ - 10-12 วัน ใน ตู้เย็น มีรสเปรี้ยว อ่อนๆ	- 2 วันที่ อุณหภูมิห้อง มีรสเปรี้ยว และกลิ่นหมัก มีเชื้อยีสต์ลอยบนผิว บางส่วนมีการเปลี่ยนสีเป็น สีชมพู และมี pH ที่ลดต่ำ - 4-6 วัน ใน ตู้เย็น มีรสเปรี้ยว และกลิ่นหมัก อ่อนๆ	- 4 วันที่ อุณหภูมิห้อง มีรสเปรี้ยว และกลิ่นหมัก อ่อนๆ - 12 วัน ใน ตู้เย็น มีรสเปรี้ยวอ่อนๆ

จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำดอกอัญชันที่ได้จาก ร้านเรือนผักกุดกับสูตรโดยทั่วไปที่ผลิตได้ จะให้คุณลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ในการผลิตของร้านนั้น มีการใช้ดอกอัญชันแห้งในการผลิตโดยใช้ใน ประมาณที่มากกว่าประมาณเมื่อเทียบกับดอกสด ปริมาณส่วนของดอกที่มากในการสกัดทำให้สกัดสารที่ได้ซึ่งส่วนใหญ่ เป็นฟ拉โวนอย์ แอนโทไซยานิน และอนุพันธ์จากการแตกตัวมีความเข้มข้นสูง ซึ่งส่งผลให้มีค่า pH ที่ต่ำกว่าน้ำดอก อัญชันสด อย่างไรก็ตามการทำแห้งดอกอัญชันส่งผลให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานินที่มีอยู่ทำให้สีของน้ำ ดอกอัญชันแห้งที่ได้แตกต่างไปจากน้ำจากดอกอัญชันสด เมื่อเปรียบเทียบรสชาติและอายุการเก็บรักษาพบว่า น้ำดอก อัญชันแห้งจะมีรสชาติของดอกอัญชันมากและมีรสฝาดเล็กน้อย อีกทั้งยังเก็บรักษาได้นานกว่า (10-12 วัน) เมื่อเทียบกับ น้ำดอกอัญชันสด (4-6 วัน) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากปริมาณสารสกัดที่สูงกว่า มีค่า pH ที่ต่ำกว่า รวมถึงการเกิดอนุพันธ์ต่างๆ จากการสลายตัวของฟ拉โวนอย์ แอนโทไซยานินในระหว่างการอบแห้งอาจส่งผลต่อรสชาติ และฤทธิ์ต้านจุลทรรศ์ที่มาก ขึ้น โดยในการเสื่อมเสียของน้ำดอกอัญชันนั้น โดยส่วนมากจะเป็นผลมาจากการเจริญของยีสต์ที่มีอยู่ ทำให้เกิดรสชาติ หมัก และเปรี้ยว เมื่อเก็บนานจะมีผลให้ค่า pH ลดลง และมีการเปลี่ยนสีไปเป็นสีชมพู

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการผลิตโดยนำสูตรทั่วไปที่ผลิตตามวิธีของร้านและวิธีแบบ GMP พบว่า น้ำดอกอัญชันที่ได้ จากการผลิตแบบ GMP นั้น มีการเสื่อมเสียที่ช้ากว่า คือ สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 12 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กรรมวิธีการผลิตที่สะอาดนั้นเป็นส่วนที่สำคัญที่จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำอัญชันได้ แม้ว่าในกระบวนการผลิต จะมีการต้มแล้วก็ตาม แต่เป็นการให้ความร้อนก่อนการบรรจุ ซึ่งมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนข้ามได้ง่าย และต่างจากการ ต้มไส้เชื้อภายหลังการบรรจุ ดังนั้นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมและกระบวนการผลิตให้เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งใน ส่วนของสถานที่บรรจุ จึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ผู้ผลิตควรพิจารณาปรับปรุงให้เหมาะสม

3. การศึกษาผลของการปรับสภาพเป็นกรด ต่อเปลี่ยนแปลงของน้ำดอกอัญชันในระหว่างการเก็บรักษา

โดยทั่วไปอาหารที่มีการปรับค่าความเป็นกรดสูง คือ มีค่า pH ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 4.5 จะมีผลช่วยในการยับยั้งการเจริญของสปอร์ *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคที่สร้างสปอร์ทนร้อนได้ ดังนั้นอาหารปรับกรดจึงทำให้การใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อต่ำลงเหลือประมาณ 100 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้นในการทดลองจึงเปรียบเทียบคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำดอกอ้อยชันปกติ กับที่มีการปรับสภาพเป็นกรด ซึ่งผลทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะของน้ำดอกอ้อยชันที่มีการปรับและไม่ปรับค่าความเป็นกรด

คุณลักษณะ	น้ำดอกอ้อยชัน		
	สูตรทั่วไป	สูตรทั่วไปปรับกรด	
ค่า pH	6.1	4.5	2.5
ลักษณะสี	สีน้ำเงินเข้ม	สีม่วงอมชมพู	สีชมพู
			
รสชาติ	กลิ่นรสของดอกอ้อยชัน	กลิ่นรสของดอกอ้อยชัน และกลิ่nmานาเวลกัน้อย	กลิ่นรสของดอกอ้อยชัน และกลิ่nmานาเวลกัน้อย
อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสีย	- 4 วันที่อุณหภูมิห้อง มีรสเปรี้ยว และกลิ่นหมักอ่อนๆ - 10-12 วัน ในตู้เย็น มีรสเปรี้ยวอ่อนๆ	- 7 วันที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นหมัก มีเชื้อยีสต์loy บนผิว - 18-20 วัน ในตู้เย็น มีรสหมัก	- 7 วันที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นหมัก มีเชื้อยีสต์loy บนผิว - 18-20 วัน ในตู้เย็น มีรสหมัก

หมายเหตุ การปรับกรดทำโดยการเติมน้ำมานา โดยปริมาตรสุดท้ายของทุกชุดตัวอย่างจะถูกปรับให้เท่ากัน

จากการทดลองพบว่า การเติมน้ำมานาเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำดอกอ้อยชัน โดยจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินไปเป็นสีแดงเมื่อเติมน้ำมานามากขึ้น (เป็นกรณีมากขึ้น) ทั้งนี้เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโไฮเดรียนที่มีอยู่ในสภาวะพื้นที่ต่างๆ และเมื่อดูถึงอายุการเก็บรักษา พบว่า การปรับกรดของน้ำดอกอ้อยชันด้วยน้ำมานาจะช่วยให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นานขึ้น จากเดิม 10-12 วัน เป็น 18-20 วัน

ทั้งนี้เนื่องจากสภาพความเป็นกรดสามารถช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลทรรศได้ โดยการปรับกรดเป็น 2.5 และ 4.5 ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงความชอบและการยอมรับ พบร่วม การเติมน้ำมะนาวไม่ได้ส่งผลต่อความชอบทางด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ ซึ่งรับประทานช่วยทำให้รู้สึกสดชื่น แต่อย่างไรก็จากการสังเกตการยอมรับทางด้านสีพบว่า ผู้บริโภคต้องการน้ำดอกอัญชันที่มีสีม่วง หรือ น้ำเงิน ที่เป็นสัญลักษณ์ของดอกอัญชันมากกว่าที่เป็นสีออกแดง ชมพู ดังนั้นการเติมน้ำมะนาวในระดับเข้มข้นที่เพียงพอต่อการยืดอายุ และไม่มีผลต่อสีของน้ำดอกอัญชัน จึงน่าจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการผลิตน้ำดอกอัญชัน

สรุปผลการวิจัย

- การเลือกใช้ดอกอัญชัน แห้ง/สด จะส่งผลต่อสี รสชาติ ของผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ดอกแห้งจำเป็นต้องใช้ในปริมาณดอกที่มากกว่าเพื่อให้ได้สีที่เพียงพอ โดยน้ำดอกอัญชันแห้ง มีแนวโน้มที่จะมีอายุการเก็บรักษาที่นานกว่าเล็กน้อย
- สภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิตที่สะอาด และพยายามลดการปนเปื้อนของเชื้อ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการยืดอายุของน้ำดอกอัญชันให้นานขึ้น
- การปรับพีเอชของน้ำดอกอัญชันให้มีสภาพที่เป็นกรด จะช่วยยืดอายุน้ำดอกอัญชันที่ผลิตได้ โดยที่ pH 2.5 และ 4.5 จะให้ผลอายุการเก็บที่ไม่แตกต่างกัน

แนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

- ศึกษาผลของการอบแห้ง ต่อฤทธิ์ทางยาของดอกอัญชัน
- ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของน้ำมะนาวที่ใช้
- ศึกษาการแปรรูปน้ำดอกอัญชันเข้มข้น

เอกสารอ้างอิง

- | | | | | | | |
|-----------|---------|-------|-------------------------|-------|-------------|------|
| พิชานันท์ | ลีแก้ว, | 2557, | จุลสารข้อมูลสมุนไพรฉบับ | 32(1) | เดือนตุลาคม | 2557 |
|-----------|---------|-------|-------------------------|-------|-------------|------|
- (<http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/226/อัญชัน-ประโยชน์ที่ควรรู้>)
- นันทยา กัลยาศิริ. (2548). อนามัยอิสระศัตรูตัวร้ายของเรา. วารสารคลังข้อมูล สพท, 26(1), 19.
- วีໄล รังสรรคทอง. (2543). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- จิตรธนา แจ่มเมฆ และคณะ. (2543). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Gordon, M.H. (2001). The Development of Oxidative Rancidity in Food. In Antioxidant in Food. (Porkorny, J., Yani hlie a, N. and Gordon, M.H., eds.). p. 7-20. CRC pre. New York.
- Maccarone, E., Maccarrone, A., and Rapisarda, P. (1985). Stability of anthocyanins of blood orange fruit juice. *J. Food Sci.*, 50 : 901-904.

บทที่ 4 การร่วมวิจัย การถ่ายทอดเทคโนโลยีและการนำไปใช้ประโยชน์

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่างคลื่นวิทยุ และคลื่นอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ เป็นคลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการให้ความร้อนกับอาหาร เช่นการต้ม การนึ่ง การอุ่น และการทำแห้ง คลื่น ไมโครเวฟสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในวัสดุและทำให้วัสดุซึ่งมีน้ำอยู่ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งภายในและที่ผิวพร้อมๆกัน ใน ขบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อการอบแห้งอาหารนั้น จะใช้คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟที่จะตอบสนอง ต่อไมโครคลูชนิดต่างๆไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของมัน เนื่องจากคุณสมบัติของไมโครเวฟมี ลักษณะเฉพาะ ทำให้น้ำสามารถดูดพลังงานของคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยพลังงานของคลื่นไมโครเวฟมี ผลกระทบต่อวัสดุอื่นๆน้อยมาก น้ำจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนระเหยออกไป ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น จึงใช้ในการระเหยของน้ำในอาหารโดยที่ความร้อนดังกล่าวจะไม่ทำให้โครงสร้างและร沙าติของอาหารเกิดการเสียหาย ถ้าหากมีการควบคุมที่เหมาะสม ใน การวิจัยและพัฒนาพิสิกส์และเทคโนโลยีไมโครเวฟของห้องปฏิบัติการวิจัยพลาスマ ประยุกต์เพื่อการกสิกรรม สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยลักษณ์ตั้งแต่ปีพ.ศ.2545 ทำให้กลุ่มวิจัยมีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ สามารถออกแบบและสร้างระบบกำเนิดและควบคุมคลื่นไมโครเวฟที่มีราคาถูก ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ มีศักยภาพในการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟไปใช้ในการอบแห้งปลา อบแห้งผักสมุนไพร อบแห้งรังนกแ่อน เป็นต้น ซึ่งสามารถอบแห้งได้เร็วขึ้นและประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลม ร้อนหรือรังสีอินฟราเรด โดยต้องอบแห้งที่เดี๋ยวต้องนานขึ้น จะสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชนเพื่อเป็นทางเลือกของ การประกอบอาชีพ

ทางห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาasmaเพื่อการประยุกต์ทางกสิกรรม ได้ทำการปรับปรุงและสร้างตู้ ไมโครเวฟขนาดต่างๆ และเตรียมความความพร้อมด้านเทคโนโลยีไมโครเวฟไว้หลายรูปแบบ เพื่อตอบสนองความต้องการ ที่หลากหลายของผู้ใช้งาน ตั้งแต่เครื่องไมโครเวฟทดสอบขนาดเล็ก ขนาดกลาง ไปจนขนาดที่ผลิตเป็นระดับ อุตสาหกรรมได้



รูปที่ 4.1 ห้องสำหรับรวมเทคโนโลยีไมโครเวฟและให้บริการการอบแห้ง

1. ตู้ไมโครเวฟสำหรับทดสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

เป็นตู้ไมโครเวฟที่ปรับปรุงมาจากไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไป โดยเพิ่มในส่วนของระบบควบคุมกำลังไมโครเวฟเข้าไป สามารถทดสอบผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยๆได้ เพื่อหากำลังที่เหมาะสมสำหรับเป็นข้อมูลนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณที่มากขึ้น



รูปที่ 4.2 ตู้อบไมโครเวฟสำหรับทดสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

คุณสมบัติ

- ขนาดห้องอบกว้าง 30 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ลึก 28 เซนติเมตร
- มีคาดสำหรับวางชิ้นงาน 1 ถาด
- กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 1000 วัตต์
- สามารถควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบคงที่ได้
- มีจอแสดงผลแบบ LCD
- ความถี่ที่ใช้ 2450 (MHz)

2. ตู้อบแห้งไมโครเวฟขนาดเล็ก

เป็นตู้อบไมโครเวฟที่สร้างและพัฒนาขึ้นเพื่อใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในกรณีที่มีผลิตภัณฑ์จำนวนน้อย



รูปที่ 4.3 ตู้อบแห้งไมโครเวฟขนาดเล็ก

คุณสมบัติ

- ขนาดห้องอบกว้าง 45 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ลึก 40 เซนติเมตร
- มีคาดสำหรับวางชั้นงาน 3 ถาด
- ใช้แมกนีตرون 1 หัวกำลัง 850 วัตต์
- สามารถควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบคงที่ได้
- มีการแสดงผลแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน
- มีระบบวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด
- ความถี่ที่ใช้ 2450 (MHz)

3. ตู้อบแห้งไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดขนาดกลาง



รูปที่ 4.4 ตู้อบแห้งไมโครเวฟขนาดกลาง

คุณสมบัติ

- ขนาดห้องอบกว้าง 54 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ลึก 60 เซนติเมตร
- มีคาดสำหรับวางชั้นงาน 6 ถาด
- ใช้แมกนีตرون 4 หัวฯลฯ 850 วัตต์
- มีหลอดอินฟราเรด 2 หลอดฯลฯ 500 วัตต์ และตั้งเวลาเปิด-ปิดได้
- มีระบบแสดงคุณภาพของอากาศภายในห้องอบ
- สามารถควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบคงที่ได้
- มีการแสดงผลแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน
- มีระบบวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด
- ความถี่ที่ใช้ 2450 (MHz)

4. ตู้ไมโครเวฟอบแห้งขนาดใหญ่รับความร้อนด้วยน้ำ

เป็นตู้อบแห้งไมโครเวฟที่รองรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในปริมาณจำนวนมากๆ เหมาะสมสำหรับการอบเพื่อผลิตขายจริง และทดลองเพื่อหาต้นทุนในการใช้ไมโครเวฟกับผลิตภัณฑ์เพื่อความเป็นไปได้ในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟ สามารถอบต่อเนื่องเป็นเวลานาน



รูปที่ 4.5 ตู้อบแห้งไมโครเวฟขนาดใหญ่

คุณสมบัติ

- ขนาดห้องอบกว้าง 80 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ลึก 85 เซนติเมตร
- มีถาดสำหรับวางชิ้นงาน 10 ถาด
- ใช้แมgnีตรอน 6 หัวฉะ 1.5 กิโลวัตต์
- มีหลอดอินฟราเรด 2 หลอดฉะ 500 วัตต์ และตั้งเวลาเปิด-ปิดได้
- มีระบบแสดงคุณภาพของอากาศภายในห้องอบ
- ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง
- สามารถควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบคงที่ได้
- มีระบบวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด
- ความถี่ที่ใช้ 2450 (MHz)

ในการดำเนินการเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟในช่วงเดือนกันยายน 2556 ถึงเดือนเมษายน 2558 มีกิจกรรมต่างๆดังนี้

1. การทำการวิจัยเพื่อพัฒนาขักรกระบวนการของชุมชนมุสลิมบ้านเขาวัง

ณ บ้านเขาวังตั้งอยู่ที่ตำบลหินตก อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ชาวบ้านส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำสวนยางพาราและสวนผลไม้ ทางกลุ่มแม่บ้านได้รวมตัวกันเพื่อต้องการหาอาชีพเสริมและเพิ่มมูลค่าให้แก่ วัตถุดิบในท้องถิ่นที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในสวนยางพาราและสวนผลไม้ ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวคือกระบวนการซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพืชสมุนไพรโดยทั่วไป ลักษณะอ่อนของกระบวนการนี้นำไปใช้ประกอบอาหารจากน้ำส่วนของเมล็ดกระบวนการยังสามารถนำไปใช้ในทางยาได้ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่กระบวนการทางกลุ่มแม่บ้านจึงมีแนวความคิดที่จะนำกระบวนการมาปรับรูปเป็นชา

โดยทางกลุ่มแม่บ้านได้ทำการนำส่วนต่างๆของกระบวนการ คือ ลำต้น ใบ และเมล็ดมาทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำจากน้ำขี้นส่วนต่างๆไปทันให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปทำให้แห้งโดยการผึ้งแเดดแต่ปัญหาที่พบคือจะต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งและมีความเสี่ยงที่จะทำให้วัตถุดิบเสียหายเมื่อผ่านตาก็อาจจะเกิดการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและเชื้อจุลินทรีย์ได้ ทางกลุ่มแม่บ้านจึงได้ติดต่อเพื่อขอคำแนะนำเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ทางหน่วยวิจัยจึงให้ความช่วยเหลือในการทดสอบการอบแห้งกระบวนการโดยการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ โดยจากการทดสอบพบว่าการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งของกระบวนการได้



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการเตรียมกระบวนการ



รูปที่ 4.7 กระบวนการกรองแห้งกระบวนการด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟ



รูปที่ 4.8 ส่วนต่างๆของกระบวนการภายหลังการกรองแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟ



รูปที่ 4.9 ผลิตภัณฑ์ชาจากส่วนต่างๆของกระวาน

2. การวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาจากใบบุเรียน้ำ

โดยผู้ประกอบการทวีฟาร์ม จำเกอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความต้องการที่จะพัฒนาการแปรรูปใบบุเรียน้ำให้เป็นชาใบบุเรียน้ำ โดยได้เข้ามาขอใช้บริการอบรมแห่งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟเพื่อทดสอบการอบแห้งใบบุเรียน้ำที่คัดเลือกมาจากสวนเพื่อนำไปทดสอบหาความเหมาะสมของชนิดของใบบุเรียน้ำเพื่อนำไปแปรรูปเป็นชาจากใบบุเรียน้ำเพื่อนำไปจำหน่ายพนัง ซึ่งได้ทำการทดลองในช่วงเดือนกรกฎาคม - เดือนกันยายน 2557 และทดลองผลิตจำหน่ายในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน 2558 ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสม่า อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์



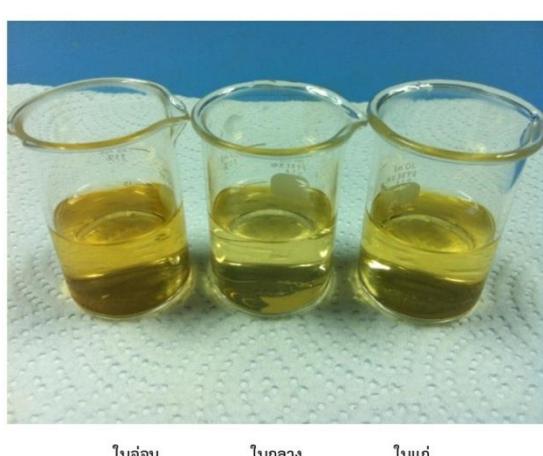
ภาพที่ 4.10 ใบบุเรียน้ำที่นำมาอบแห้ง



ภาพที่ 4.11 การอบใบชาเรียนน้ำด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟ



ภาพที่ 4.12 ใบชาเรียนน้ำภายหลังการอบ



ภาพที่ 4.13 น้ำชาที่ได้จากใบชาเรียนน้ำ

สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีด้านการต้านออกซิเดชันของชาใบทุเรียนน้ำอบแห้ง (ผศ.ดร.สุปราณี มนูรักษ์ ชินกร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวัลลกษณ์)

1. ชาใบทุเรียนน้ำที่ผลิตโดยใช้ใบอ่อนและใบแก่จัด และน้ำชาที่ชงได้มีสีน้ำตาลเข้มกว่าชาใบทุเรียนน้ำที่ผลิตโดยใช้ใบแก่ปานกลาง แต่น้ำชาที่ชงได้จากชาใบทุเรียนน้ำที่ผลิตโดยใช้ใบแก่ปานกลางมีสมบัติการต้านออกซิเดชันต่ำสุด
2. ชาใบทุเรียนน้ำที่ผลิตจากใบแก่ปานกลาง โดยใช้สภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส/กำลังไมโครเวฟ 40% และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส/กำลังไมโครเวฟ 50% และน้ำชาที่ชงได้มีสีน้ำตาลเข้มกว่าชาใบทุเรียนน้ำที่ผลิตโดยใช้สภาวะอบแห้งสภาวะอื่นๆ
3. น้ำชาที่ชงได้จากชาใบทุเรียนน้ำที่ผลิตจากใบแก่ปานกลาง โดยใช้สภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส/กำลังไมโครเวฟ 50% และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส/กำลังไมโครเวฟ 80% มีสารประกอบพื้นอิสิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงสุด
4. สภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส/กำลังไมโครเวฟ 50% เหมาะแก่การผลิตชาใบทุเรียนน้ำจากใบแก่ปานกลางเพื่อให้ได้ชาที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยใบชาที่ผลิตได้มีสีค่อนข้างน้ำตาลและน้ำชาไม่มีสีน้ำตาลเข้ม
5. สภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส/กำลังไมโครเวฟ 80% เหมาะแก่การผลิตชาใบทุเรียนน้ำจากใบแก่ปานกลางเพื่อให้ได้ชาที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยใบชาที่ผลิตได้มีสีค่อนข้างเขียวและน้ำชาไม่มีสีน้ำตาลอ่อน



ภาพที่ 4.14 การบรรจุภัณฑ์โดยเยาวชนในชุมชน



(ก)



(ข)



ภาพที่ 4.15 (ก) ชาทุเรียนน้ำบารุงชุด 25 กรัมราคา 250 บาท (ข) แผ่นพับแนะนำชาทุเรียนน้ำ

ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2558 ที่ผ่านมา ผู้ประกอบการไร่ทรัพย์ทวี จำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้เข้ามาขอใช้บริการอบแห้งใบทุเรียนน้ำผึ้งสมไปโดยเครื่องโนโลย์ไมโครเวฟ รายละเอียดต่างๆดังตารางต่อไปนี้

วัน/เดือน/ปี	น้ำหนักใบ ทุเรียนสด (กิโลกรัม)	น้ำหนักใบทุเรียน แห้ง (กิโลกรัม)	จำนวนถุง/25 กรัม
16/2/58	6	2.5	100
17/2/58	5	2.1	84
5/3/58	6	2.3	92
6/3/58	10	3.4	136
10/3/58	17	7.2	288
12/3/58	13	4	160
4/4/58	5	2.3	92
10/4/58	25	7.4	296
รวม	87	50.4	1,248

ขั้นตอนการอบใบทุเรียนน้ำผึ้งสมไปโดย

นำใบบุหรี่ยน้ำผึ้งสมใบเตยที่ผ่านการหันซึ่งมีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร ไปใส่ในตะแกรงทั้ง 6 ตะแกรง เท่าๆกัน เฉลี่ยตะแกรงละ 400 กรัม จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องไมโครเวฟใช้กำลังในการอบ 70 วัตต์ ใช้กระถางไฟฟ้า 15 แอม培ร์ อุณหภูมิในการอบอยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที ซึ่งในระหว่างการอบทุกๆ 30 นาที จะมีการเปิดเครื่องไมโครเวฟเพื่อวัดอุณหภูมิ และสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของใบบุหรี่ยน้ำผึ้งสมใบเตย เมื่ออบครบ 70 นาที พบร้า ใบบุหรี่ยน้ำผึ้งสมใบเตยมีลักษณะแห้ง กรอบ มีสีเขียวโอลีคีียงกับใบสด จากนั้นจึงนำไปอบ น้ำผึ้งสมใบเตยที่ผ่านการอบแห้งไปบรรจุใส่ถุง

**หมายเหตุ ค่าไฟประมาณ 16 บาท ต่อน้ำหนักใบบุหรี่ยน้ำแห้ง 1 กิโลกรัม



ภาพที่ 4.16 การออกบูธแสดงสินค้า



ภาพที่ 4.17 สมเด็จพระเทพฯ สนพระทัยชาทเรียนน้ำในงานยุวเกษตรแห่งชาติเมือง 15-18 มีนาคม 2558

3. การสนับสนุนสมาคมเครือข่ายประมงพื้นบ้านอ่าวท่าศาลาผลิตอาหารทะเลปลอดภัย



ภาพที่ 4.18 ปลา尼ลแห้งเดดเดี้ยว



ภาพที่ 4.19 ปลากราเค็ม

ร้านคณจับปลา สาขานครศรีธรรมราช ชุมชนประมงพื้นบ้านอ่าวท่าศาลา อำเภอท่าศาลาและชุมชนปากพญา อำเภอเมืองนครศรีธรรมราชได้รับการสนับสนุนทางวิชาการจากมหาวิทยาลัยลักษณ์และหน่วยวิจัยเทคโนโลยี พลางasma เพื่อทดลองการแปรรูปอาหารทะเลด้วยเครื่องอบไมโครเวฟและตู้ตากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งที่ผ่านมาได้ใช้ในการทำปลากรุ่นและปลาจวดแัดเดี้ยว

ประโยชน์ที่ร้านคณจับปลาและชุมชนได้รับ

1. ได้เครื่องมือในการแปรรูปอาหารที่ตอบสนองความต้องการของชุมชนอย่างแท้จริง
 2. ได้สินค้าแปรรูปที่มีคุณภาพและปลอดจากแมลงรบกวน ซึ่งทำให้การผลิตอาหารที่ปลอดจากสารเคมี เช่นยาฆ่าแมลงเป็นไปได้จริง และคุณภาพมากขึ้น
 3. ได้เครื่องมือแปรรูปที่สามารถผลิตเพื่อการจำหน่ายในการจัดการธุรกิจระดับชุมชน ซึ่งสามารถผลิตปลา แัดเดี้ยวได้อย่างต่อเนื่อง ตลอดทั้งปี แม้จะเป็นฤดูฝนที่มีแสงแดดน้อย
 4. ชาวประมงมีรายได้มากขึ้นจากการนำปลาขายให้ร้านคณจับปลา ซึ่งให้ราคาสูงกว่าตลาดทั่วไป (แต่ชาวประมงต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขการผลิต เช่นใช้เครื่องมือประมงพื้นบ้าน ไม่ใช้เครื่องมือทำลายล้างในการจับปลาและไม่ใช้สารเคมีอันตรายในการเก็บรักษา)
 5. ทะเลได้รับการดูแลรักษามากขึ้น ด้วยเงื่อนไขทางการตลาดที่ให้ใช้เครื่องมือห้าปลาแบบพื้นบ้าน ไม่ใช้เครื่องมือทำลายล้ำในการจับปลา
 6. สร้างรายได้ให้กับชุมชน เกิดการจ้างแรงงานในชุมชนเพื่อมาทำหน้าที่จัดการแปรรูปอาหารและจัดการตลาด การซื้อขาย
 7. เป็นพื้นที่ศึกษาดูงานของภาครัฐ เอกชนและชุมชนในการจัดการธุรกิจชุมชนและการอนุรักษ์ทะเล รวมทั้งการแปรรูปอาหารทะเล
 8. ได้รับการจัดการความรู้และการต่อยอดขยายผลงานในทางวิชาการระดับชุมชนและมหาวิทยาลัย
 9. ผู้บริโภคได้รับอาหารทะเลแปรรูปที่ปลอดภัย เชื่อถือได้ในคุณภาพการผลิต
- ข้อคิดเห็นจากชุมชน**
1. โครงการควรมีความต่อเนื่องจนกว่าชุมชนจะสามารถพึ่งตนเองได้และมีความรู้มากพอในการจัดการด้วยตนเอง
 2. ควรมีนักวิจัย หรือผู้ประสานวิจัยลงมาติดตามการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง มีการประชุมร่วมที่เป็นวาระอย่างชัดเจนมากขึ้น เช่น เดือนละ ๑ ครั้ง
 3. มหาวิทยาลัยควรทำความร่วมมือกับชุมชนอย่างเป็นทางการเพื่อให้การดำเนินงานเกิดความต่อเนื่องและสร้างความเชื่อมั่นให้กับชุมชน
- องค์กรภาคีสนับสนุน**
1. สมาคมสมาชิกชาวประมงพื้นบ้านแห่งประเทศไทย
 2. สมาคมรักษ์ทะเลไทย
 3. Oxford Committee for Famine Relief(Oxfam)
 4. หน่วยวิจัยเทคโนโลยีพลาสม่าเพื่อการเกษตร
 5. โครงการปักป้องพื้นที่ความมั่นคงทางอาหาร

4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อบแห้งเครื่องแกง น้ำพริก เห็ดแครง อัญชัญ : เรือนผักฤดู อ.ช้างกลาง จ.นครศรีธรรมราช



5. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อบแห้งกล้วยเล็บมือนาง : ต่อ & ตึก มาร์เก็ตติ้ง อรุณพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช



6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดแห่นและปูอัดแห่นอบแห้ง :บริษัทแปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

ในช่วงวันที่ 31 มีนาคม ถึง 1 เมษายน 2558 ที่ผ่านมา ทางทีมงานฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด จังหวัด สงขลา ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำด้านธุรกิจอาหารทะเลแปรรูปแซ่บซี๊ด มีความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีอบแห้งไมโครเวฟ จึงได้เข้ามาขอคำแนะนำและใช้บริการการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟ ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสม่าฯ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดและปูอัดแห่นอบแห้ง โดยทางบริษัทได้นำผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดแห่นปรุงรสและปูอัดแห่นที่เหลือจากการเข้าเครื่องทำปูอัดแห้ง มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อบกรอบพร้อมรับประทาน ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับบริษัทได้

ขั้นตอนการอบแห้งปูอัดแห่น

นำปูอัดแห่น ไปใส่ในตะแกรง ๆละ 100 กรัม จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องไมโครเวฟ ใช้กำลังในการอบ 80 วัตต์ ร่วมกับอินฟราเรดอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส ใช้กระแสไฟฟ้า 20 แอมเปอร์ อุณหภูมิในการอบ 83 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที 30 วินาที เมื่อบกรอบเวลาดังกล่าว พบว่า ปูอัดแห่นมีลักษณะพอง กรอบ สีทึ่ดออกน้ำตาลอ่อนผสมสีแดงสด

ขั้นตอนการอบแห้งเนื้อปลาบดแห่นปูรุส

นำเนื้อปลาบดแห่นปูรุสไปใส่ในตะแกรง ฯลฯ 100 กรัม จากนั้นนำไปอบด้วยเครื่องไมโครเวฟ ใช้กำลังในการอบ 70 วัตต์ ร่วมกับอินฟราเรดอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส ใช้กระแสไฟฟ้า 20 แอมเปอร์ อุณหภูมิในการอบ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 นาที เมื่ออบครบเวลาดังกล่าว พบร้า เนื้อปลาบดแห่นปูรุสมีลักษณะพอง กรอบ สีที่ได้ออกขาวชุ่นปนน้ำตาลอ่อน



ภาพที่ 4.20 ปูอัดแห่นและเนื้อปลาบด



ภาพที่ 4.21 ทางทีมงานฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท แบบิพิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด และ อาจารย์และผู้ช่วยวิจัย ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสม่าฯ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์แห่นปูรุสอบกรอบ

7. ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาขยะชี้นของโรงไฟฟ้ากำจัดขยะเทศบาลนครหาดใหญ่



ภาพที่ 4.22 การเข้าไปริเคราะห์ปัญหาขยะชี้นของโรงไฟฟ้ากำจัดขยะเทศบาลนครหาดใหญ่

โรงไฟฟ้ากำจัดขยะเทศบาลนครหาดใหญ่ สามารถกำจัดขยะได้วันละประมาณ 150 ตันโดยการเผาขยะ ดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 6 MW แต่เนื่องจากปัญหาความชื้นของขยะอินทรีย์ทำให้ลดประสิทธิภาพของเตาเผา บริษัทไออีซีกรีน เอนเนอร์ยีจำกัด จึงขอให้ห้องปฏิบัตiteknikโนโลยีพัฒนาฯเข้าศึกษาเพื่อใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟช่วยลด ความชื้นของขยะ โดยผลของการศึกษาจะดำเนินการติดตั้งระบบไมโครเวฟกำลังสูงความถี่ 2.45 GHz และ 915 MHz เข้ากับเครื่องอบแห้งแบบหมุน(Rotary drum dryer)เพื่อลดความชื้นชัย 10-15% ชั่วโมงละประมาณ 6 ตัน โดยทาง บริษัทจะสนับสนุนงบประมาณการวิจัย 3 ล้านบาท(ดูAppendixC)

8. การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสำหรับผลิตผลทางการเกษตร

ได้ร่วมมือกับศูนย์ความเป็นเลิศด้านพิสิกส์จัดอบรมเชิงปฏิบัติการเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสำหรับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรให้กับเกษตรกรที่สนใจในภาคเหนือ ในวันที่ 4 เมษายน 2557

**ขอเชิญผู้สนใจเข้าร่วมโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ
“เครื่องอบไมโครเวฟสำหรับผลิตผลทางการเกษตร”**

วันศุกร์ที่ 4 เมษายน 2557 เวลา 08.30 – 16.30 น.
ณ ห้องสืบบทบาท อาคาร 40 ปี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิจกรรมในการอบรม

- ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเครื่องอบไมโครเวฟสำหรับปั่นปั่นและซีลห่ออาหาร
- สาธิตการใช้เครื่องอบไมโครเวฟ
- วิเคราะห์ SWOT ของไทย ความต้องการและความเป็นไปได้ของธุรกิจอาหาร
- แบบประเมินแหล่งทุนฯ ก้าวธุรกิจและเงินทุน




ดาวน์โหลดใบสมัครได้ที่
<http://www.thep-center.org/arc2/view/home.pl>
 อีเมลงานอบรมเชิงปฏิบัติการ คุณวิชิตเป้า (เรืองรุจ)
 โทรศัพท์ (๐๘๑) ๙๔๒ ๔๘๐ โทรสาร : (๐๘๑) ๒๒๒-๗๗๔
 E-mail : wachcharat@thep-center.org



ร่วมจัดโดย
 ศูนย์ความเป็นเลิศด้านพิสิกส์
 คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลักษณะ
 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ค่าสมัคร 350 บาท

หมดเขตสมัคร : 26 มีนาคม 2557
 รับสมัครจำกัดจำนวน !!



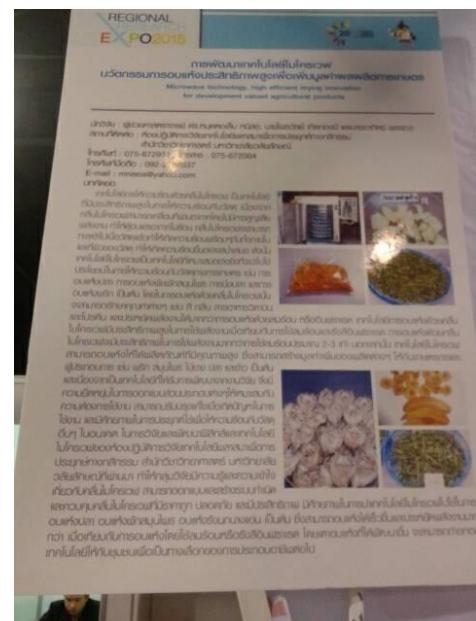
9. การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง สร้างธุรกิจด้วยผลิตภัณฑ์อบแห้ง

ได้ร่วมมือกับอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์จัดอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องสร้างธุรกิจด้วยผลิตภัณฑ์อบแห้ง มาตรฐาน GMP ในระหว่างวันที่ 10-13 กันยายน 2557 ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสม่าฯ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยมีกลุ่มแม่บ้านและผู้ประกอบการที่มีความสนใจเกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์อบแห้งมาเข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการในครั้งนี้ ซึ่งได้รับประโยชน์และความรู้ที่สามารถนำไปปรับใช้กับวัตถุดิบของตนเองได้



10. แสดงบูรณาการเพื่อผลงานในงานมหกรรมงานวิจัยส่วนภูมิภาค2558(Regional Research Expo 2015)

ในระหว่างวันที่ 26 – 28 มีนาคม 2558 ได้นำผลงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยคลีนไมโครเวฟไปร่วมงานมหกรรมงานวิจัยส่วนภูมิภาค2558 (Regional Research Expo 2015) สำหรับภูมิภาคใต้ ที่ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลอมสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา



บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงาน(Output)	ผลสำเร็จ (%)	หมายเหตุ
1. การถ่ายทอดเทคโนโลยีไมโครเวฟ (การสร้างเครื่องข่ายกับชุมชนและนักวิจัยในภาคใต้ การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีให้กับชุมชน ผู้ประกอบการ และนักวิจัย)	100	ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชน หรือผู้ประกอบการ 7 กลุ่ม จัดอบรมเชิงปฏิบัติการ 2 ครั้ง ร่วมแสดงนิทรรศการงานวิจัย 1 ครั้ง
2. การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อการปรับปรุงค่าหาร การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และการจัดการสิ่งแวดล้อม	100	พัฒนาโจทย์วิจัย 2 เรื่องที่เป็นความต้องการของชุมชนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพื้นเมืองปากพนัง และเครื่องดื่มดอกอัญชัญ
3. การวิจัย 3 โครงการย่อย <ul style="list-style-type: none"> - โครงการย่อยที่ 1 - โครงการย่อยที่ 2 - โครงการย่อยที่ 3 	76 100 80	ดูรายละเอียดเพิ่มเติมด้านล่าง

ในการดำเนินงานของชุดโครงการการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสม่าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อพัฒนาวัตกรรมทางการเกษตร สามารถสรุปผลการดำเนินงานด้านต่างๆได้ดังนี้

1. การดำเนินการโครงการวิจัย

ในชุดโครงการนี้มีโครงการวิจัยย่อย 3 โครงการ โดยมีผลการดำเนินงานโดยสรุปดังนี้

1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันหอมระ夷ประสิทธิภาพสูงจากพืชด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีผลการดำเนินงานคือ

- ได้ออกแบบวงจรการควบคุมการทำงานของแมกนีตอรอนจำนวน 3 หัว โดยแต่ละหัวสามารถจ่ายกำลังไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง และสามารถควบคุมกำลังได้ 0 – 1500 วัตต์
- ได้ออกแบบระบบต้นแบบอุตสาหกรรมการสกัดตะไคร้หอมด้วยไมโครเวฟ มีห้องคลื่นแบบMultimodes ความจุห้องคลื่นประมาณ 100 ลิตร มีคลื่นร้อนต่ำกว่า 10 mW/cm²

- ได้พัฒนาอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยใช้ IR Thermometer ซึ่งสามารถแสดงค่าอุณหภูมิและเก็บข้อมูลของอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ
- ได้เครื่องต้นแบบอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันหอมระ夷จากตะไคร้หอม ซึ่งสามารถสกัดได้ครั้งละประมาณ 5 กิโลกรัม มีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของตะไคร้หอมแบบIR และเซ็นเซอร์แบบThermocoupleเพื่อวัดอุณหภูมิCondensor สามารถทำงานกึ่งอัตโนมัติเพื่อควบคุมกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมกับเงื่อนไขในการสกัด
- ยังอยู่ในระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และไม่มีการทดสอบประสิทธิภาพการไล่ยุง เนื่องจากมีผลงานการวิจัยที่เผยแพร่โดยหน่วยบริการฐานข้อมูลสมุนไพร สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ดู Appendix A)
- เทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นยังไม่สามารถถ่ายทอดสู่ชุมชนได้เนื่องจากยังขาดข้อมูลของการพัฒนาผลิตภัณฑ์และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยจะร่วมมือกับร่วมมือกับดร.ชลธิต สนธิเมือง คณะการแพทย์แผนไทยเพื่อพัฒนาสถาปัตยกรรม ที่จะสกัดน้ำมันหอมระ夷ของดอกดาลารำหรับAromatherapy และสร้างความร่วมมือกับห้องถีนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไล่ยุงจากตะไคร้หอมและสมุนไพรอื่นๆต่อไป

1.2 การประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการเตรียมโพลิเมอร์ลอกแบบเพื่อการวิเคราะห์ยาปราบวัชพีปริมาณน้อย มีผลการดำเนินงานคือ

- ทราบสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารเอตราเซ็นด้วยเทคนิค HPLC โดยจะต้องใช้ความยาวคลื่นที่ 221 นาโนเมตร, ใช้อัตราส่วนของ mobile phase 60% acetonitrile ในน้ำ, ใช้อัตราการไหลของ mobile phase ที่ 0.6 mL/min, ความแม่นยำของค่า peak area มี RSD ≤ 1% และความแม่นของค่า retention time มี RSD ≤ 0.1%, ซึ่งความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารเอตราเซ็นอยู่ในช่วง 20 μg/L ถึง 100 mg/L โดยมีค่า correlation coefficient (R^2) มากกว่า 0.99 และมีขีดจำกัดของการตรวจวัดสารเอตราเซ็นที่ความเข้มข้น 10 μg/L
- ได้ทำการสังเคราะห์โพลิเมอร์ MIP โดยใช้เอตราเซ็นเป็นโมเลกุลต้นแบบ และโพลิเมอร์ NIP ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ควบคุมด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เครื่องไมโครเวฟที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง
- พบว่า MIP นี้มีความสามารถในการจับกับสารเอตราเซ็นสูงกว่า NIP (20.05 mg สำหรับ MIP และ 6.05 mg สำหรับ NIP) ซึ่งเพียงพอที่จะใช้งานเป็นตัวดูดซับเอตราเซ็นปริมาณน้อยในสิ่งแวดล้อม
- จากการศึกษาความสามารถจำเพาะเจาะจงในการจับของ MIP กับ เอตราเซ็น พบว่าโพลิเมอร์ MIP ที่เตรียมขึ้นมีความสามารถจำเพาะเจาะจงสูงต่อสารเอตราเซ็น โดยให้ % recovery สูงกว่าสารที่มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับเอตราเซ็นทั้งสามสารได้แก่ simazine, terbutryne และ prometon

- ได้ประยุกต์ใช้โพลีเมอร์ลอกแบบ MIP ในภารวิเคราะห์น้ำในพื้นที่เกษตรกรรม 4 แหล่ง ใน จ. นครศรีธรรมราช พบว่าทุกตัวอย่างมีการตกค้างของสารเอثارซิน อยู่ที่ระดับความเข้มข้น 1.11 – 9.30 $\mu\text{g}/\text{L}$ แต่อย่างไรก็ตามถือว่าระดับที่ตรวจพบไม่เป็นอันตราย
- สามารถสังเคราะห์โพลีเมอร์ลอกแบบสำหรับสารเอثارซินโดยใช้เวลารวดเร็ว เพียง 2 ชั่วโมงทำให้ได้โพลีเมอร์ลอกแบบที่มีความจำเพาะเจาะจงในการวิเคราะห์เอثارซินปริมาณน้อยในแหล่งน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อการเฝ้าระวังและควบคุมการตกค้างของสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้หากตรวจพบเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด

1.3 ผลกระทบของกระบวนการทำแห้งต่อคุณลักษณะ คุณค่าทางโภชนาการ และ ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผง

- ผลฟักข้าวเกิดการเสื่อมเสียได้ง่ายภายหลังการเก็บเกี่ยว ระดับความแก่-อ่อน การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว การขนส่งและเก็บรักษา ต่างก็มีผลต่อคุณภาพผลฟักข้าวเป็นอย่างมาก และปริมาณสารสำคัญในฟักข้าวขึ้นอยู่กับระดับความแก่-อ่อนของผลฟักข้าว
- โครงการวิจัยนี้ใช้เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเป็นวัตถุดิบหลัก จึงมีเนื้อฟักข้าวสีเหลืองและเปลือกฟักข้าวเป็นของเหลวจากการกระบวนการเป็นจำนวนมาก เป็นปัจจัยต่อการนำไปทึบจึงควรมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำส่วนที่เหลือจากการกระบวนการผลิตไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากฟักข้าว
- การทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยเครื่องทำแห้งที่แตกต่างกันให้ลักษณะผลิตภัณฑ์ฟักข้าวผงที่แตกต่างกันทางด้านคุณลักษณะปรากฏ เช่น สี ความสามารถในการคืนตัวด้วยน้ำ ปริมาณความชื้น a_w และปริมาณไลโคปีน เบต้าแคโรทีน และ Antioxidant activity
- เนื่องจากการใช้เวลาในการศึกษาเรื่องไข่ของกรอบแห้งและคุณสมบัติทางชีวภาพของฟักข้าว จึงยังไม่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของฟักข้าวแห้ง

2. การพัฒนาโจทย์วิจัยและการพัฒนานักวิจัยใหม่

- ### 2.1 ได้สนับสนุนให้มีการพัฒนาโจทย์วิจัยใหม่ 2 เรื่องซึ่งเป็นความต้องการของชุมชนคือ
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจากข้าวกล้องไข่มดริน் โดย พศ.ดร.นฤมล มาแทน ซึ่งสามารถพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์จากข้าวไข่มดริน்(ดู Appendix D) ซึ่งจะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มของข้าวไข่มดริน์ให้กับชุมชนอำเภอปากพนังและอำเภอหัวไทรในอนาคต
 - การศึกษาปรับปรุง และพัฒนาวิธีการ กระบวนการผลิตเพื่อยืดอายุผลิตภัณฑ์น้ำดอกอัญชัน เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต การยืดอายุการเก็บรักษา และการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ที่จะสร้างการยอมรับของผู้บริโภค ที่จะทำให้ผู้ประกอบการใน

**ห้องถินสามารถพัฒนาเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและสร้างมูลค่าในเชิง
เศรษฐกิจในอนาคต**

2.2 ได้สนับสนุนให้นักศึกษาปริญญาตรีทำโครงการเพื่อสร้างนวัตกรรมใหม่ทางพิสิกส์ที่จะสร้างความเข้มแข็งให้กับอาชีพเกษตรกรรมของชุมชน โดยมีดร.ทวีนันท์ เชี่ยวชาญชำนาญกิจ และผศ. ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยมีหัวข้อของโครงการดังนี้

- เก็บพลังงานจากแสงแดดด้วย Pelteir Effect
- พัฒนาวิธีการตรวจสอบสุขภาพของต้นไม้
- สร้างกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย2000เท่าด้วยกระดาษพับ
- การสร้างชุดทดลองต้นแบบ สเปกโตรมิเตอร์

3. การถ่ายทอดเทคโนโลยีเม蔻เรฟเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ และสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน โดยได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชนหรือผู้ประกอบการ 7 กลุ่ม จัดอบรมเชิงปฏิบัติการ 2 ครั้ง ร่วมแสดงนิทรรศการงานวิจัย 1 ครั้ง

4. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆต่อ สกว.

- ไม่มี

ลงนาม 
ลงนาม 

(ผศ.ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน



อ้างอิง: หน่วยบริการฐานข้อมูลสมุนไพร สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
(<http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/cymbona.html>)

1. ชื่อสมุนไพร ตะไคร้หอม

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cymbopogon nardus* (Linn.) Rendle,
ชื่อวงศ์ POACEAE (GRAMINEAE)
ชื่อพ้อง *Cymbopogon winterianus* Jowitt.
ชื่ออังกฤษ Citronella grass
ชื่อท้องถิ่น จะคีมมะขูด, ตะไคร้มะขูด, ตะไคร้แดง

2. ลักษณะทางพฤกษาศาสตร์

พืชล้มลุก มีอายุหลายปี มีเหง้าใต้ดิน ลำต้นตั้งตรง ออกเป็นกอ มีกลิ่นหอม ใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปไข่แคน โคนใบแผ่นออกเป็นกาบ มีลิ้นใบรูปไข่ มีขน อยู่ต่ำรอยต่อระหว่างใบกับกาบมีแผ่น ดอกช่อขนาดใหญ่ สีน้ำตาลแดง แห้งออกจากกลางต้น ใบประดับลักษณะคล้ายกาบ ดอกช่อเชิงลด แยกเป็นหลายแขนง ออกเป็นคู่ ช่ออยู่ยึดในประดับที่โคน 2 ใน ใบ nok มีหยัก ด้านนอกแบบขอบแพร่ออกเป็นปีกแคนๆ และขอบด้านบนสาก ใบในรูปเรือ ปลายแหลมมีเส้นตามยาว 1-3 เส้น ขอบมีขน แต่ละดอกยื่อยึดในประดับ 2 แผ่น เรียกกาบบนและกาบล่าง กาบบนรูปขอบขนาน เนื้อบาง ขอบมีขน กาบล่างรูปยาว แคบ มีขนแข็งและปลายแหลม ผลเป็นผลแห้งเมล็ดเดียว ไม่แตก

3. ส่วนที่ใช้เป็นยาและสรรพคุณ

- ทั้งต้น ใบยุ่งและแมลง

4. สารสำคัญที่เป็นสารออกฤทธิ์

น้ำมันตะไคร้หอมมีส่วนประกอบที่สำคัญในการออกฤทธิ์ คือ camphor, cineol, eugenol, citral และ linalool, citronellal และ geraniol

5. ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

5.1 ฤทธิ์ไล่ยุงและแมลง

น้ำมันตะไคร้หอม (Citronella oil) ซึ่งเป็นน้ำมันหอมระเหยสกัดจากต้นตะไคร้หอมสามารถใช้ไล่แมลงได้ สามารถป้องกันยุงลาย ยุงกันปล่อง และยุงรำคาญกัดได้นานประมาณ 2 ชั่วโมง ครีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมร้อยละ 14 สามารถทำป้องกันยุงรำคาญได้ในอาสาสมัคร 13 คน จากทั้งหมด 20 คน และมีประสิทธิภาพในการป้องกันยุงกัดได้นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับครีมจากสารสังเคราะห์ (dimethyl phthalate ร้อยละ 20 และ diethyl toluamide ร้อยละ 5) ครีมที่มีน้ำมันจากใบตะไคร้หอม ความเข้มข้นร้อยละ 1.25, 2.5 และ 5 มีประสิทธิภาพในการป้องกันยุงกันปล่องได้นาน 2 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 จะป้องกันได้มากกว่า 4 ชั่วโมง ตำรับครีมที่มีส่วนผสมของน้ำมันขาร้อยละ 5 น้ำมันตะไคร้หอมร้อยละ 2.5 และวนิลินร้อยละ 0.5 มีประสิทธิภาพในการป้องกันยุงกัดได้นานกว่า 6 ชั่วโมง

น้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอม สามารถป้องกันยุงที่เป็นพาหะของโรคมาลาเรีย ไข้เลือดออก และเท้าชา疼ได้นาน 8-10 ชั่วโมง ความเข้มข้นที่ให้ผลป้องกันยุงลายได้ร้อยละ 50 (EC50) และร้อยละ 95 (EC95) เท่ากับร้อยละ 0.031 และ 5.259 ตามลำดับ น้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นร้อยละ 1 สามารถป้องกันยุงกัดได้ร้อยละ 75.19 สารสกัดด้วยอ่อนลอร้อยละ 90 จากต้นตะไคร้หอม และสารสกัดตะไคร้หอมที่ผสมกับน้ำมันมะกอกและน้ำมันหอมระเหยกลิ่นชามดเช็ด เมื่อนำมาทดสอบกับยุงลายและยุงรำคาญตัวเมีย จะมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงได้นานประมาณ 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีผลในการควบคุมและกำจัดลูกน้ำยุงได้ด้วย

น้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมความเข้มข้นร้อยละ 10 มีฤทธิ์ไล่ตัวอ่อนของเห็บได้นานถึง 8 ชั่วโมง และสามารถไล่ตัวอ่อนของเห็บพันธุ์ *Amblyomma cajennense* ได้ด้วยค่า EC50 และ EC90 เท่ากับ 0.089 และ 0.343 มิลลิกรัม/ตารางเซ็นติเมตร และที่ความเข้มข้น 1.1 มิลลิกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ไล่ตัวอ่อนของเห็บได้ร้อยละ 90 นาน 35 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ไล่แมลงที่ทำลายเมล็ดข้าวที่เก็บไว้ โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของข้าว นอกจากนี้ต้นตะไคร้หอมยังมีฤทธิ์ไล่แมลงวัน ผีเสื้อกลางคืน และพวงแมลงบินต่างๆ ได้ด้วย

5.2 ฤทธิ์ฆ่าแมลง

น้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอมมีฤทธิ์ฆ่าตัวอ่อนของยุงกันปล่องและยุงรำคาญได้ โดยระยะเวลาที่ตัวอ่อนตายครึ่งหนึ่งเท่ากับ 1.2 และ น้อยกว่า 0.2 นาที ตามลำดับ และมีฤทธิ์ป้องกันการวางไข่ตัวถัว (*Callosobruchus sps*) สามารถฆ่าตัวถัว และแมลงวันได้

สารสกัดต้นตะไคร้หอมที่ความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) จะให้ผลน้อยมากในการควบคุมแมลงศัตรูชนิดหลัก แต่จะมีผลทำให้ร้ายแรงกุหลาบทาร้อยละ 95 ภายใน 20.70 ชั่วโมง นอกจากนี้สารสกัดด้วยอ่อนลอร้อยละ 10 จากต้นตะไคร้หอมแห้ง 50 กรัม/ลิตร จะให้ผลดีในการลดปริมาณของหมัดกระโดดซึ่งเป็นแมลงศัตรุคน้ำ แต่มีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำหนักของเศษน้ำลดลง แซมพูที่มีส่วนผสมของสารสกัดต้นตะไคร้หอม สามารถฆ่าเห็บ หมัดในสัตว์เลี้ยงได้ สารสกัดต้นตะไคร้หอมผสมกับสารสกัด

จากเม็ดสีเดา และข่า ในสัดส่วน 10 มิลลิลิตร/น้ำ 1 ลิตร มีผลลดการเข้าทำลายของเพลี้ยอ่อนและหนอนเจ้าฝึกซึ้งเป็นแมลงศัตรูถาวรฝากายว� แต่ไม่สามารถควบคุมการเข้าทำลายของแมลงวันเจ้าต้นถ้วนได้

6. อาการข้างเคียง

ยังไม่มีรายงาน

7. ความเป็นพิษที่นำไปและต่อระบบสืบพันธุ์

7.1 การทดสอบความเป็นพิษ

เมื่อฉีดสารสกัดด้วยแอลกอฮอล์และน้ำในอัตราส่วน 1:1 จากส่วนของต้นขนาด 1 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางช่องห้องหนาม้าส์ ไม่พบความเป็นพิษ

8. วิธีการใช้

8.1 การใช้ตัวไคร์หอมไล่ยุง ตามคำแนะนำของกระทรวงสาธารณสุข (สาธารณสุขมูลฐาน)

ก ใช้ตันตัวไคร์หอม ทุบวางไว้ข้างๆ บริเวณที่อยู่

ข ใช้สารสกัดตัวไคร์หอมด้วยแอลกอฮอล์ ชูบสำลีวางไว้ใกล้ๆตัว

8.2 ยาจากสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติ

ไม่มี



Journal of Essential Oil Research

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/tjeo20>

Fabrication and characteristics of phase control microwave power for jasmine volatile oil extraction

Sarana Sommano^{ab}, Priwan Kerdtongmee^c, Mayuree Chompoo^d & Mudtorleb Nisoa^c

^a Science and Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

^b Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

^c Experimental Physics Research Unit, School of Science, Walailak University, Nakhon-sri-thammarat, Thailand

^d Handharvest Co. Ltd., Sunpatong, Chiang Mai, Thailand

Published online: 18 Mar 2015.

To cite this article: Sarana Sommano, Priwan Kerdtongmee, Mayuree Chompoo & Mudtorleb Nisoa (2015): Fabrication and characteristics of phase control microwave power for jasmine volatile oil extraction, Journal of Essential Oil Research, DOI: [10.1080/10412905.2015.1023904](https://doi.org/10.1080/10412905.2015.1023904)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2015.1023904>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Taylor & Francis makes every effort to ensure the accuracy of all the information (the "Content") contained in the publications on our platform. However, Taylor & Francis, our agents, and our licensors make no representations or warranties whatsoever as to the accuracy, completeness, or suitability for any purpose of the Content. Any opinions and views expressed in this publication are the opinions and views of the authors, and are not the views of or endorsed by Taylor & Francis. The accuracy of the Content should not be relied upon and should be independently verified with primary sources of information. Taylor and Francis shall not be liable for any losses, actions, claims, proceedings, demands, costs, expenses, damages, and other liabilities whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with, in relation to or arising out of the use of the Content.

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. Terms & Conditions of access and use can be found at <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>

RESEARCH ARTICLE

Fabrication and characteristics of phase control microwave power for jasmine volatile oil extraction

Sarana Sommano^{a,b*}, Priwan Kerdpongmee^c, Mayuree Chompoo^d and Mudtorleb Nisoa^c

^aScience and Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand; ^bDepartment of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand; ^cExperimental Physics Research Unit, School of Science, Walailak University, Nakhon-sri-thammarat, Thailand; ^dHandharvest Co. Ltd., Sunpatong, Chiang Mai, Thailand

(Received 11 July 2013; accepted 23 February 2015)

Conventional volatile oil distillation consumes large amounts of time and energy. Microwave-assisted extraction (MAE) has proved an alternative method that reduces processing time and energy consumption. Conventional MAE systems, modified from an on-off power control microwave oven, lead to overheating of raw material, resulting in low-quality outputs. In this work, we design and develop a phase-power control microwave hydro-diffusion and gravity (PC-MHG) system in which continuous and adjustable power is archived. To verify the efficiency of the developed system, jasmine (*Jasminum sambac*) volatile oil was extracted in comparison with simultaneous steam distillation extraction (SSDE), in terms of yield, energy consumption, CO₂ emission and the composition profiles. As a result, better percent yields, 0.07% and 0.03% at 500 and 100 W, respectively, were obtained, compared with the essential oil extracted by SSDE (0.004%). Some minor volatile compounds, extracted by solid-phase microextraction, were absent when volatile oil was extracted by both PME and SSDE. The typical compositions of volatile oil obtained by the two techniques, however, are quite similar. In conclusion, the developed microwave extraction system can provide substantial yield and quality of the volatile oil from jasmine, and can be developed for a large-scale industrial prototype.

Keywords: energy consumption; *Jasminum sambac*; microwave extraction; phase-power control; solid-phase microextraction; steam distillation

Introduction

Performing volatile oil extraction from plant materials can be performed using several methods from the traditional delicate way (effleurage) (1) and time-consuming simultaneous steam distillation extraction (SSDE) (2, 3), to novel green technologies, i.e. critical fluid carbon dioxide (3, 4) and microwave-assisted extraction (MAE) (5–8). Conventional SSDE is simple and widely used, even though exposure of raw materials to high temperatures may induce degradation of various active compounds (4). Recently, considerable attention has been devoted to the application of microwave dielectric heating for the extraction of volatile oil. Extraction of volatile oil using microwave irradiation without an organic solvent or water is one of the techniques that can offer high reproducibility in a shorter time, simplified manipulation, reduced solvent consumption and lower energy input (6). Theoretically, when microwave energy is applied, water molecules, within the plant cells, are heated up by dipole rotation within the dielectric. The heat then distorts the plant cells and eventually causes them to rupture, and essential oil is released by vapor to ambient air and condensed to a liquid from

which it is then collected by gravity. This method is called microwave hydro-diffusion and gravity (MHGE) (7, 8). However, the major problem of using this method of heating is temperature control, which depends largely on the size and shape as well as the properties of raw materials (9) and as a result excess heat may lead to a low-quality product. This happens in particular when on-off microwave heating is used (10). To overcome such a problem, a phase controller, which controls the electrical power input to the magnetron, is developed so that the magnetron can generate continuous and adjustable microwave power. Therefore, the heating rate and temperature of raw materials can be precisely controlled (10, 11).

Jasmine (*Jasminum sambac* Linn.; Oleaceae) is an oriental fragrant flower, which is notorious for its rich, long-lasting aroma. Volatile oil of jasmine contains more than 100 aromatic compounds, such as linalool, benzyl acetate, benzyl alcohol, indole, benzyl benzoate, *cis*-jasmon, geraniol, methyl anthranilate and trace amounts of *p*-cresol, farnesol, *cis*-3-hexenyl benzoate, eugenol, nerol, ceosol, benzoic acid and benzaldehyde (2, 12). Among these, the monoterpene linalool is a common

*Corresponding author. Email: sarana.s@cmu.ac.th

fragrant ingredient used in the cosmetic industry (13, 14). Linck et al. (15) suggested that inhaling linalool could aid relaxation and counteract anxiety. Furthermore, this valuable ingredient is a potentially anti-inflammatory agent (16). Commercially, the extraction of jasmine volatile oil is by hexanal extraction (12). This method, however, is against the ‘green’ concept of recent industrial processing systems that requires energy conservation and low CO₂ emission (17).

The current study focuses on the fabrication and characteristics of phase-power control microwave hydro-diffusion and gravity (PC-MHG) for the extraction of volatile oil. To determine the effectiveness of our system, an appropriate comparison in terms of extraction time, aromatic composition and energy consumption with those achieved by a SSDE method was performed.

Experimental

Design of phase microwave power control (PC-MHG)

The PC-MHG was designed and fabricated at the Plasma Technology for Agricultural Application Laboratory, School of Science, Walailak University, Nakhon-sri-thammarat, Thailand, as shown in Figure 1 (A and B). The heating chamber comprised a 30 × 30 × 40 cm³ aluminum chamber with ventilating fans and a microwave leakage-suppression door. The microwave generator, a magnetron, is connected to a waveguide (5 × 10 × 12 cm³) in which microwave energy is transferred to the heating chamber. The electrical current passes through a phase-power control unit, resulting in continuous and adjustable microwave power from 0 to about 520 W, as shown in Figure 2.

Plant materials

Fresh jasmine flowers (*J. sambac* L.; Oleaceae) were purchased from the market in Chiang Mai Province, Thailand, during January–February 2012. In the laboratory, flowers of uniform size and color were selected, washed with distilled water and blotted dry on a tissue paper. The volatile oil was extracted from fresh flowers using two different processes, namely PC-MHGE and SSDE.

Screening of jasmine volatile compounds using solid-phase microextraction (SPME) apparatus

The method of Wongpornchai et al. (18) for SPME was followed. Briefly, fresh jasmine flowers (1.2 g) were incubated in a 27-mL glass chamber, which was sealed with a PTFE/silicone septum and covered with an aluminum cap. The glass chamber was left at room temperature (27°C) for 30 minutes. This allowed an appropriate equilibrium time (time needed to reach

equilibrium between the sample and the above headspace). The SPME holder coated with 100-μm polydimethylsiloxane (PDMS) was inserted into the chamber and the adsorption time was 15 minutes. Thereafter, it was thermally desorbed in the S/SL injector for 10 minutes at 250°C.

For gas chromatography–flame ionization detector/mass spectrometry (GC–FID/MS), analyses were carried out in an Agilent® 6890 system fitted with an FID on a fused silica capillary column (30 m × 0.25 i.d. × 0.25 μm film thickness). The compositions were obtained with the following conditions: flow rate, 1.0 mL/minute; splitless; injection temperature, 250°C; oven temperature program, 30–240°C at 2°C/minute and held at 240°C for 6.5 minutes. Helium was the carrier gas. The ionization current was measured at 280°C. GC/MS was conducted using a DB-5ms column with an HP 5973 mass-selective detector (Agilent Technologies®, Palo Alto, CA, USA). The MS source and quadrupole temperatures were set at 230° and 150°C, respectively. Mass spectra: electron impact (EI+) mode 70 eV. Retention indices (RI) of constituents were calculated according to Van den Dool and Kratz (20) using standard C₅–C₃₀ straight-chain hydrocarbons (Sigma Aldrich, USA).

Volatile oil extractions

The volatile oil extraction system was performed according to the method of Farhat et al. (7) and Pripdeevech et al. (3) with a slight adaptation for MAE. The extraction vessels were made from Pyrex® with a capacity of 1500 mL. A batch of 300 g of fresh jasmine flowers were packed and heated in a multimode microwave reactor without the addition of solvent or water. The direct interaction of microwaves with fresh jasmine flowers advances the release of essential oil inside the cells of the plant tissues. The volatile oil thus moves downwards by gravity on a spiral condenser outside the microwave cavity, where it was condensed. The extract was collected and then solvent extracted twice with dichloromethane. The solvent was removed by vacuum evaporator and the mass of the essential oil was recorded. The essential oil compositions were analyzed by GC. Energy consumption was recorded using a wattmeter (Power Cost Monitor, China). The environmental impact of the operations was accessed by CO₂ (g) released to the environment (21), which suggested that to obtain 1 kW/hour from coal or fuel, 800 g of CO₂ will be released in the atmosphere during the combustion of fossil fuel.

For simultaneous distillation and extraction, the methods of Paibon et al. (2) and Pripdeevech et al. (3) were followed with slight changes to the simultaneous steam distillation apparatus. Fresh jasmine flowers (300

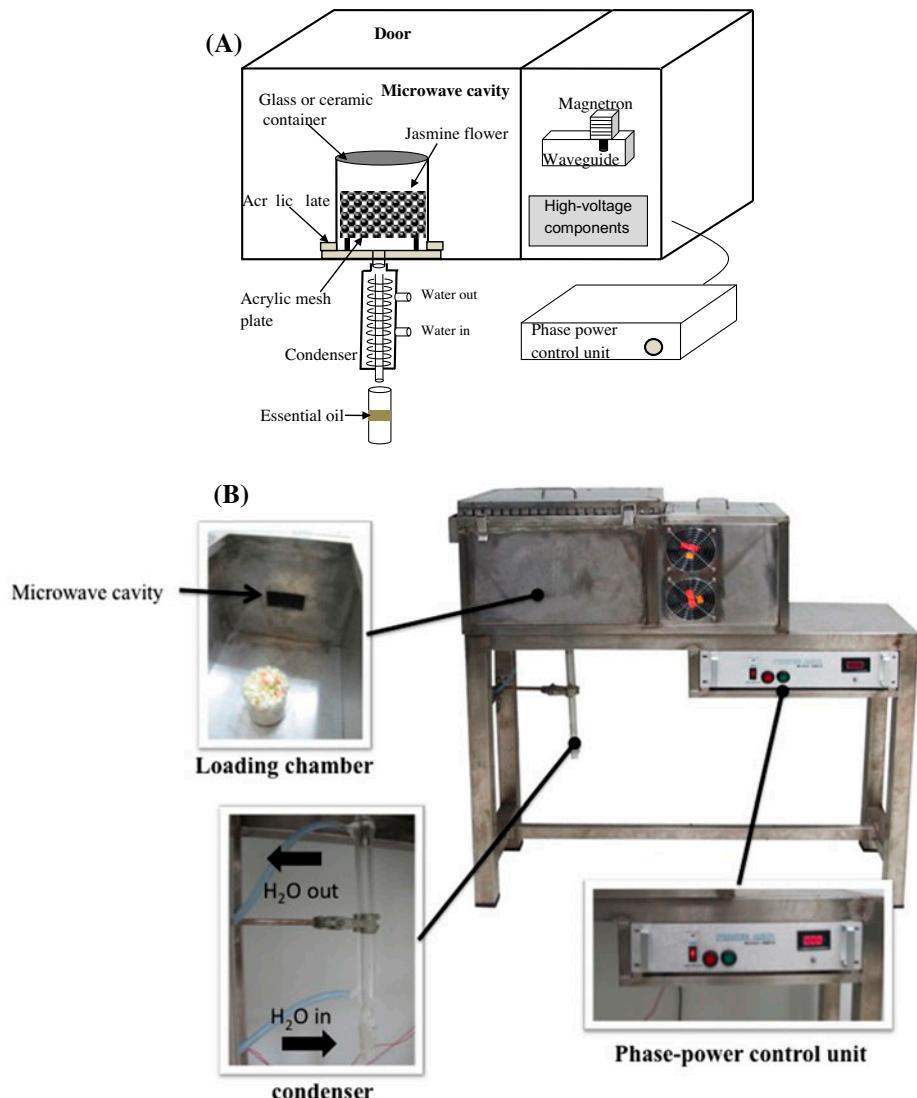


Figure 1. Schematic diagram of phase-power control microwave hydro-diffusion and gravity (PC-MHG) system (A) and picture of the fabricated system (B).

g) was blended with distilled water (200 mL) and transferred into a 1000-mL round flask. Dichloromethane (150 mL) was added into another 250-mL round flask. Both flasks were connected to the apparatus. During extraction, more dichloromethane and distilled water were added in the central arm of the apparatus. The flask containing dichloromethane was heated on a hot plate at 50°C, while the flask containing jasmine flowers and distilled water was heated on hot plate at 100°C. After extraction, dichloromethane was removed from the distillate by vacuum rotary evaporation and the volatile oil was obtained. The mass of volatile oil was recorded and the oil quality was analyzed by GC-MS. The energy consumption and environmental impact were measured as described above.

Statistical analysis

Data was analyzed by analysis of variance (ANOVA) using Minitab 15™ (PA, USA). One-way ANOVA was applied and statistical differences were established at $p \leq 0.05$.

Results and discussion

Microwave phase control extraction unit

Typically, to obtain high-quality volatile oil, obtained from herbal plant extraction, the microwave extraction system has to have precision power control and a carefully designed condensation unit. Domestic microwave ovens utilize on-off power control and radiated

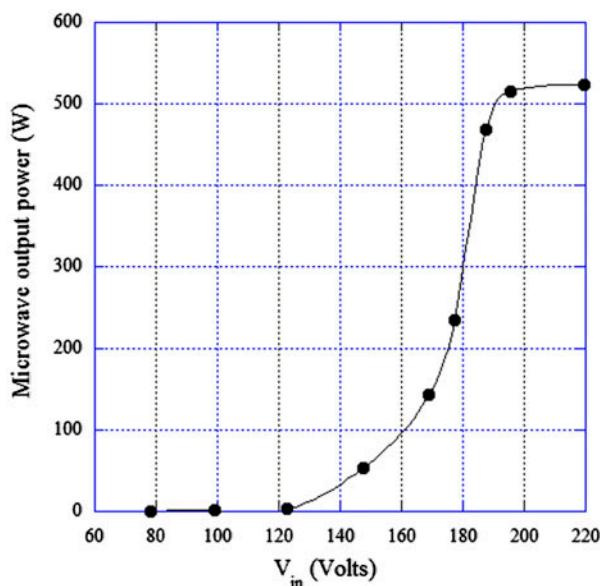


Figure 2. Dependence of microwave output power on high-voltage transformer input voltage, controlled by phase controller.

microwave power is not constant, i.e. only average microwave power can be controlled (10, 11). This kind of power characteristic leads to various problems in

food processing industries, including run-away heating of thawing foods (22), centre focusing in unusual geometric objects (23) and edge or corner overheating in trays (24). More importantly, the conventional microwave does not allow direct control of heating rates throughout products, which brings about overheating and severe damage to plant cells (10). This means of heating, therefore, is not appropriate for volatile oil extraction.

By using a phase controller to vary the electrical power input to the high-voltage transformer unit, the magnetron adjustably receives adequate power that is adjustable for the types of raw material used, thus producing better quality outputs. The phase controller is fabricated by power electronic devices and microcontrollers. Continuous and adjustable microwave power is then generated and transmitted to the plant cells. Water molecules (H_2O) in plant cells will strongly absorb microwave electric fields to generate heat. Cells containing a high moisture content such as oil-containing structures like oil glands or inner parenchyma in the case of orange peels can therefore produce more heat and pressure. When the pressure exceeds the capacity for expansion, cell membranes can explode, causing evaporation of H_2O and volatile compounds (6, 25). The steam, comprising both H_2O and volatile oil, is then condensed at cool temperatures (4–10°C). The

Table 1. Yield and extraction time of jasmine volatile oil by simultaneous steam distillation extraction (SSDE) and phase control microwave extraction (PC-MHG).

Methods	SSDE	PC-MHG	
		100 W	500 W
Yield (%)	0.004 ± 0.0004 ^a	0.046 ± 0.008 ^b	0.063 ± 0.008 ^b
Time (minutes)	296.6 ± 14.5 ^a	70.3 ± 1.4 ^b	6.5 ± 0.76 ^c
Energy consumption (kW/hour)	1.78 ± 0.09 ^a	0.12 ± 0.002 ^b	0.05 ± 0.006 ^b
Environmental impact (gCO ₂ rejected)	1424 ± 69.7 ^a	93.8 ± 1.9 ^b	43.3 ± 5.09 ^b

Note: Values are means of three replications ± standard error (SE). Within one parameter, values with the same subscription latter are not significantly different at $p=0.05$.

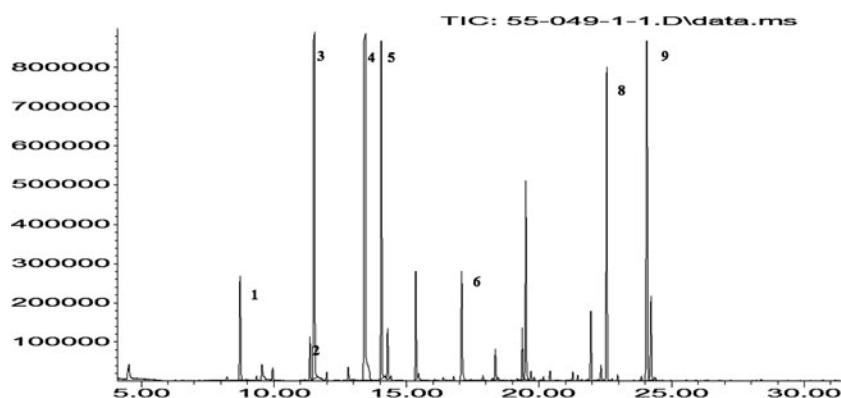


Figure 3. Solid-phase microextraction (SPME) profile of fresh jasmine flower.

Table 2. Identification of volatile compounds from fresh jasmine flowers by solid-phase microextraction (SPME).

Peak number	Component	RI _{cal}	RI _{ref}	% of normalized peak areas
1	Cis-3-hexenyl acetate	1003	1005	2.6
2	Methyl benzoate	1089	1091	1.0
3	Linalool	1100	1104	14.9
4	Benzyl acetate	1164	1163	30.0
5	Cis-3-hexenyl butyrate	1167	1167	9.2
6	Indole	1286	1288	2.9
7	(3z)-3-hexenyl hexanoate	1375	1379	1.1
8	Farnesene	1442	1440	6.8
9	Cis-3-hexenyl benzoate	1540	1542	18.5

Note: Values are presented as percentage of normalized peak areas without correction factor. RI_{cal}, linear retention indices were calculated using standard C₅-C₃₀ straight-chain hydrocarbons (Sigma Aldrich, USA) in comparison with literature values (RI_{ref}) in refs (19) or (35).

Table 3. Identification of volatile compounds from jasmine volatile oil by a simultaneous distillation extraction (SSDE) and phase control microwave extraction (PC-MHG) at 100 and 500 W.

Peak number	Components ^a	Retention indices			% of normalized peak areas	
		RI _{cal}	RI _{ref}	SSDE	100 W	500 W
1	Cis-3-hexenol	832	834		0.9	
2	Benzyl alcohol	1030	1032	18		10.4
3	Linalool	1100	1104	9.3	12.3	7.5
4	Benzyl acetate	1164	1163		0.6	16.6
5	Indole	1286	1288	9.1		6.8
6	Farnesene	1442	1440	6.5	28.2	18.3
7	Cis-3-hexenyl benzoate	1540	1542	36.4	21.1	
8	Linalool oxide	1700	1698	1.7	0.5	
9	Methyl 2-aminobenzoate	2257	2260	11.443	13.0	12.6

Note: Values are presented as percentage of normalized peak areas without correction factor. RI_{cal}, linear retention indices were calculated using standard C₅-C₃₀ straight-chain hydrocarbons (Sigma Aldrich, USA) in comparison with literature values (RI_{ref}) in refs (19) or (31).

fluid then clearly appears in two phases, because of the difference in densities between H₂O and volatile oil, which can then easily be separated.

On the other hand, commercial microwave extraction units from CEM and Milestone are very expensive, and designed mostly for use in the laboratory. However, the details of their microwave power control are not clearly explained. Our PC-MHG utilized a phase-power controller to control microwave power with a resolution of 1–2 W. Understanding of microwave propagation is necessary, in order to have a condensation unit outside the cavity without leakage. Large-scale industrial prototypes can be developed in the future. The technology is appropriate for local natural product extraction industries in Thailand and in other developing countries.

Extraction yield, time and environmental impact

While SSDE is conventional and widely used for the extraction of plant volatile oil, MAE is cheap (no solvent required), simple, fast and consumes less

energy (26). The yields of jasmine essential oil with different extraction processes are illustrated in Table 1. The differences in percent yield between the two techniques used were apparent. Microwave heating at 500 W gave the highest yield followed by 100 W for SSDE, respectively. Moreover, PC-MHGE could minimize the extraction time approximately 50-fold using 500 W and four-fold compared with the time spent to obtain the essential oil with SSDE. Similarly, the environmental impact was much lower using MAE, approximately 50 and 100 g CO₂ were released into the environment using this technique at 500 and 100 W, respectively. This was in a range of the same technique for volatile oil extraction in a previous study. Conventional SSDE could emit as high as 1500 g CO₂ (Table 1). Moreover, as being a single-step process and involving no solvent, MHG in general leads to a reduction in operating costs and better energy uses (27). Also, the residue after distillation can be re-processed to extract bioactive compounds that are in high demand for the agro-food and cosmetics industries. Considering

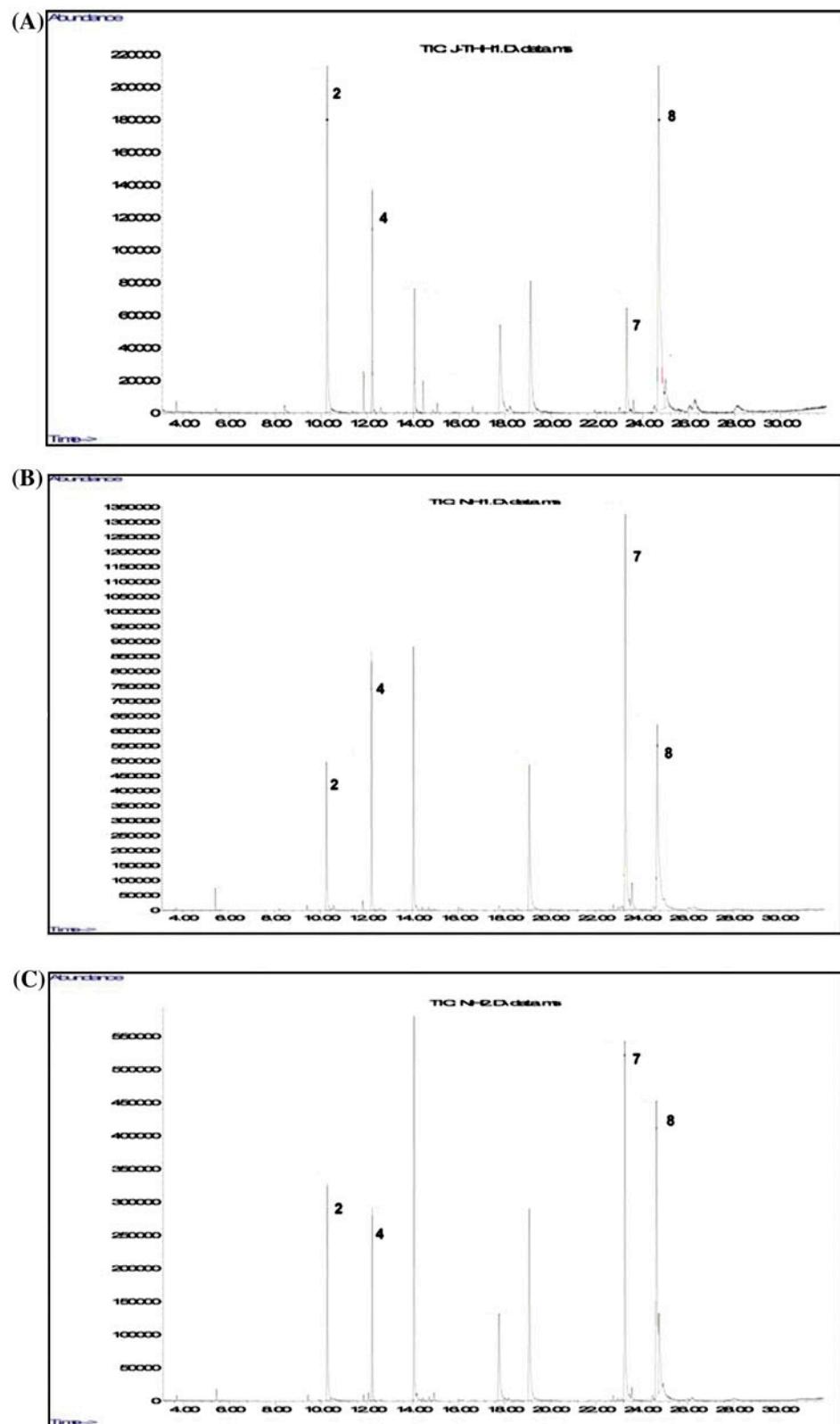


Figure 4. The chromatograms of jasmine volatile oil obtained by (A) simultaneous steam distillation extraction (SSDE); (B) phase-power control microwave hydro-diffusion and gravity (PC-MHG) at 100 W and (C) PC-MHG at 500 W.

all these aspects, MHG is in line with the principles of Green Extraction of Natural Products, which are the directions for green innovation, labels and standardization (27, 28).

SPME profile of jasmine volatile compounds

SPME, coupled with GC–MS is widely used in the fragrance industry to analyze volatile constituents of flowers as well as other plant materials (29). This technique is rapid, with no solvent involved and adjustable temperature setting, i.e. 40°C was used to mimic the daytime temperature in the natural environment (30). However, in this experiment, a laboratory temperature (27°C) was used. The major volatiles of fresh jasmine were benzyl acetate, *cis*-3-hexenyl benzoate and linalool, as shown in Figure 3 and Table 2.

Effect of essential oil extraction techniques on jasmine volatile profile

The volatile constituents of jasmine volatile oil obtained from SSDE and PC-MHG at 100 and 500 W were compared (Table 3). The chromatograms of these techniques were also shown in Figure 4. The chromatograph patterns of the essential oil obtained by these methods were similar, with benzyl alcohol, linalool, farnesene and *cis*-3 hexenyl benzoate being the major components. These are in agreement with the jasmine volatile oils extracted by hydro-distillation, solvent extraction and enfleurage (2, 31). In terms of their composition, the volatile oils isolated by SSDE and PC-MHG show a slight difference. Microwave heating negatively affected the content of benzyl alcohol, i.e. was absent at 100 W. However, the amounts of farnesene from the essential oil from 100- and 500-W PC-MHG extractions were approximately three or four times, respectively, higher than that of SSDE. Farhat et al. (32) described the rate of essential oil extraction using first-order kinetics and suggested that at microwave power above 200 W, the constant kinetic (*K*) was stable. At this point and beyond, the temperature inside the sample increased, leading to the rupture of the essential oil cells, followed by evaporation of the water and essential oils. This could result in the release of certain chemical compositions. However, at higher power (300–400 W), the loss of some volatile compounds may also apparent (32).

Paiboon et al. (2) suggested that the variable volatile oil compositions obtained from different methods might be due to their instability against heat and light during the extraction. However, since the maximum extraction temperatures were lower than the boiling point of water (100°C) for both methods used (29) and the vapor pressure (boiling points = 150–350°C) of

volatile compounds are relatively high (33), therefore, it is impossible that high temperature exposure may directly be involved in the absence of some volatile compounds. In fact, high temperatures may advance the oxidation or other decomposition processes of some essential oils (31). In comparison with the SPME result, the numbers of the compounds found in fresh jasmine flowers were higher than in the extracted volatile oil from either SSDE or PC-MHG. Moreover, SPME seemed to pick up some minor constituents, i.e. benzyl acetate. This suggests that the volatile constituents extracted by SPME were less prone to thermal degradation than SSDE or MAE. Work done by Liang et al. (34) is in an agreement with this. From the results of this study, comparing the compositions of essential oil from any different extraction techniques may be difficult due to any unrestrained reactions that may happen during extraction process, i.e. oxidation processes.

Conclusions

The PC-MHG extraction system, which utilizes the advantage of green microwave technology, can reduce the processing time and consume less energy, which is environmentally friendly. A substantial yield of jasmine volatile oil was achieved within 6 minutes using PC-MHG, whereas SSDE required approximately 5 hours to obtain the volatile oil. Moreover, the chemical constituents of the oils extracted by both techniques were similar. These improved system benefits make MHG a good alternative for the extraction of floral essential oil. This work will be fruitful in the future development of large-scale industrial prototype MAE systems.

Acknowledgements

This work is financially supported by the National Innovative Agency (NIA), Thailand, under the framework of the ‘Innovation Coupon’ project P0252. The authors gratefully acknowledge Dr. Pilailuk Intipunya for her technical support and useful comments involving chemistry.

References

1. W.A. Poucher, A.J.E. Jouhar and H.E. Butler, *Poucher's Perfumes, Cosmetics and Soaps*, 9th edn, Chapman and Hall, London (1991).
2. W. Paiboon, C.A. Yimnoi, N. Tembab, W. Boonlue, K. Jampachaisri, N. Nuengchamnong, N. Waranuch and K. Ingkaninan, *Comparison and evaluation of volatile oils from three different extraction methods for some Thai fragrant flowers*. Int. J. Cosmetic Sci., **33**, 150–156 (2011).
3. P. Pripdeevech, S. Wongporchai and P.J. Marriott, *Comprehensive two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry analysis of volatile constituents in Thai vetiver root oils obtained by using different extraction methods*. Phytochem. Analysis, **21**, 163–173 (2010).

4. E. Reverchon, *Supercritical fluid extraction and fractionation of essential oils and related products*. J. Supercrit. Fluids, **10**, 1–37 (1997).
5. N. Bousbia, M.A. Vian, M.A. Ferhat., B.Y. Meklati and F. Chemat, *A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity*. J. Food Eng., **90**, 409–413 (2009).
6. Y. Li, A.S. Fabiano-Tixier, M.A. Vian and F. Chemat, *Solvent-free microwave extraction of bioactive compounds provides a tool for green analytical chemistry*. Trends Anal. Chem., **47**, 1–11 (2013).
7. A. Farhat, A.-S. Fabiano-Tixier, F. Visinoni, M. Romdhane and F. Chemat, *A surprising method for green extraction of essential oil from dry spices: Microwave dry-diffusion and gravity*. J. Chromatogr. A, **1217**, 7345–7350 (2010).
8. N. Sahraoui, M.A. Vian, I. Bornard, C. Boutekedjiret and F. Chemat, *Improved microwave steam distillation apparatus for isolation of essential oils comparison with conventional steam distillation*. J. Chromatogr. A, **1210**, 229–33 (2008).
9. L.A. Campañone and N.E. Zaritzky, *Mathematical analysis of microwave heating process*. J. Food Eng., **69**, 359–368 (2005).
10. J.R. Bows, M.L. Patrick., R. Janes and D.C. Dibben, *Microwave phase control heating*. Int. J. Food Sci. Technol., **34**, 295–304 (1999).
11. W.M. Cheng, G.S.V. Raghavan, M. Ngadi and N. Wang, *Microwave power control strategies on the drying process II. Phase-controlled and cycle-controlled microwave/air drying*. J. Food Eng., **76**, 195–201 (2006).
12. E. Reverchon and G. Della, *Porta and D. Gorgoglione, Supercritical CO₂ fractionation of jasmine concrete*. J. Supercrit. Fluids, **8**, 60–65 (1995).
13. A. Lapczynski, C.S. Letizia and A.M. Api, *Addendum to Fragrance material review on linalool*. Food Chem. Toxicol., **46**, S190–S192 (2008).
14. C.S. Letizia, J. Cocchiara, J. Lalko and A.M. Api, *Fragrance material review on linalool*. Food Chem. Toxicol., **41**, 943–964 (2003).
15. V.M. Linck, A.L. da Silva, M. Figueiró, E.B. Caramão and P.R.H.E. Moreno, *Elisabetsky, Effects of inhaled linalool in anxiety, social interaction and aggressive behavior in mice*. Phytomedicine, **17**, 679–683 (2010).
16. A.T. Peana, P.S. D'Aquila, F. Panin, G. Serra, P. Pippia and M.D.L. Moretti, *Anti-inflammatory activity of linalool and linalyl acetate constituents of essential oils*. Phytomedicine, **9**, 721–726 (2002).
17. T. Sonobe, *Microwave material processing for green technology*. In: *2011 IEEE First Conference on Clean Energy and Technology (CET)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 27–29 June 2011, pp. 297–299 (2011).
18. S. Wongpornchai, T. Sriseadka and S. Choovisase, *Identification and quantitation of the rice aroma compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in bread flowers (*Vallaris glabra* Ktze)*. J. Agric. Food Chem., **51**, 457–462 (2003).
19. R.P. Adams, *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy*. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL (2001).
20. H. Van den Dool and P.D. Kratz, *A generalisation of the retention index system including linear temperature programmed gas–liquid partition chromatography*. J. Chromatogr., **11**, 463–471 (1963).
21. M.A. Vian, X. Fernandez, F. Visinoni and F. Chemat, *Microwave hydrodiffusion and gravity, a new technique for extraction of essential oils*. J. Chromatogr. A, **1190**, 14–17 (2008).
22. C.R. Buffler and M.A. Stanford, *Effects of dielectric and thermal properties on the microwave heating of foods*. Microwave World, **16**, 5–10 (1995).
23. T. Ohlsson and P.O. Risman, *Temperature distribution of microwave heating. spheres and cylinders*. J. Microwave Power, **13**, 303–310 (1978).
24. J.R. Bows and P.S. Richardson, *Effect of component configuration and packaging material on microwave reheating a frozen, three-component meal*. Int. J. Food Sci. Technol., **25**, 538–550 (1990).
25. A. Farhat, A.-S. Fabiano-Tixier, M.E. Maataoui, J.-F. Maingonnat, M. Romdhane and F. Chemat, *Microwave steam diffusion for extraction of essential oil from orange peel: Kinetic data, extract's global yield and mechanism*. Food Chem., **125**, 255–261 (2011).
26. M.E. Lucchesi, F. Chemat and J. Smadja, *An original solvent free microwave extraction of essential oils from spices*. Flavour Fragr. J., **19**, 134–138 (2004).
27. F. Chemat, M.A. Vian and G. Cravotto, *Green extraction of natural products: Concept and principles*. Int. J. Molec. Sci., **13**, 8615–8627 (2012).
28. N. Rombaut, A.-S. Tixier, A. Bily and, F. Chemat, *Green extraction processes of natural products as tools for biorefinery*. Biofuels, Bioprod. and Bioref., **8**, 530–544 (2014).
29. G. Li, M.-R. Lee and D.-L. Shen, *Analysis of volatile compounds emitted from fresh *Syringa oblata* flowers in different fluorescence by headspace solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry*. Anal. Chim. Acta, **576**, 43–49 (2006).
30. J. Chaichana, W. Niwatthanun, S. Vejabhikul, S. Somna and S. Chansakaow, *Volatile constituents and biological activities of Gardenia jasminoides*. J. Health Res., **23**, 141–145 (2009).
31. A.E. Edris, R. Chizzola and C. Franz, *Isolation and characterization of the volatile aroma compounds from the concrete headspace and the absolute of Jasminum sambac (L.) Ait. (Oleaceae) flowers grown in Egypt*. Eur. Food Res. Technol., **226**, 621–626 (2008).
32. A. Farhat, C. Ginies, M. Romdhane and F. Chemat, *Eco-friendly and cleaner process for isolation of essential oil using microwave energy: Experimental and theoretical study*. J. Chromatogr. A, **1216**, 5077–5085 (2009).
33. M. Sagae, N. Oyama-Okubo, T. Ando, E. Marchesi and M. Nakayama, *Effect of temperature on the floral scent emission and endogenous volatile profile of *Petunia axillaris**. Biosci. Biotechnol. Biochem., **72**, 110–115 (2008).
34. M.M. Liang, M.L. Qi and R.N. Fu, *Flash evaporation and headspace solid-phase microextraction for the analysis of the essential oils in traditional Chinese medicine. *Houttuynia cordata* Thunb.* Chinese Chem. Lett., **16**, 659–662 (2005).
35. Anon, *LRI Odour Database*. <http://www.odour.org.uk> (accessed March 24, 2014).

ข้อเสนอโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการ

การวิจัยและติดตั้งระบบไมโครเวฟกำลังสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบหมุน

2. ทีมวิจัย

2.1 หัวหน้าโครงการ

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หมุดต่อเดื้อบ หนิสอ

ตำแหน่ง อาจารย์/หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลาสม่าเพื่อการประยุกต์ทางกสิกรรม

หน่วยงาน สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
คุณวุฒิ ปริญญาเอก สาขาวิศึกษาพลาสม่า มหาวิทยาลัยนาโงยา ประเทศญี่ปุ่น
ความชำนาญ/ความสนใจพิเศษพิสิ吉ส์และวิศวกรรมของคลื่นไมโครเวฟ เทคโนโลยีการอบแห้งวัสดุชีวภาพ การดำเนินพลาสมาความหนาแน่นสูงการวัดคุณสมบัติของพลาสม่า
ความรับผิดชอบต่อโครงการที่เสนอ หัวหน้าโครงการ วางแผนการดำเนินงานทั้งหมด

2.2 นักวิจัย

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา สิทธิชัยสถาพร

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

จังหวัดกรุงเทพมหานคร

คุณวุฒิ ปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ความชำนาญ/ความสนใจพิเศษ การประมวลสัญญาณเชิงคณิตศาสตร์ขั้นสูง

วิศวกรรมของคลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟ

2.3 นักวิจัยอาวุโสและที่ปรึกษาโครงการ

ชื่อ ดร. ภูมิ บริรักษ์มาโนช

ตำแหน่ง Visiting Professor

หน่วยงาน Centre for Bio-Inspired Technology, Imperial College London, UK.

คุณวุฒิ PhD. In Bioengineering, Imperial College, London, UK.

ความชำนาญ/ความสนใจพิเศษ Experts in Telecommunication Network, Tele-health and Financial Engineering

2.4 ผู้ช่วยวิจัย

ชื่อ นายอาหลี คำหมัน

ตำแหน่ง ผู้ช่วยวิจัย/นักศึกษาปริญญาเอกสาขาไฟลิกส์

ความชำนาญ/ความสนใจพิเศษ พลิกส์ของคลื่นและการให้ความร้อน ระบบวัดและการควบคุม

ความรับผิดชอบต่อโครงการที่เสนอ การวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นในโครเวฟของขยะมูลฝอยชุมชน การออกแบบระบบควบคุม การติดตั้งระบบเซ็นเซอร์

2.5 ผู้ช่วยวิจัย

ชื่อ นายดิเรก บุญธรรม

ตำแหน่ง ผู้ช่วยวิจัย/นักศึกษาปริญญาเอกสาขาไฟลิกส์

ความชำนาญ/ความสนใจพิเศษ พลิกส์ของคลื่นในโครเวฟ

ความรับผิดชอบต่อโครงการที่เสนอ การจำลองการกระจายตัวของคลื่น การวิเคราะห์อัตราการอบแห้ง การศึกษาคุณสมบัติโดยเลือกตัวอย่างของขยะมูลฝอยชุมชน

2.6 ผู้ช่วยวิจัย

ชื่อ นายอาทิตย์ พรธนา

ตำแหน่ง วิศวกร

ความรับผิดชอบต่อโครงการที่เสนอการทดสอบและติดตั้งระบบในโครเวฟและอุปกรณ์การวัด

2.7 ผู้ช่วยวิจัย

ชื่อ นายประวิทย์ ศรีสุข

ตำแหน่ง วิศวกร โครงการ

ความรับผิดชอบต่อโครงการที่เสนอจัดทำและจัดซื้ออุปกรณ์เครื่องมือ ดูแลการทดสอบ และติดตั้งระบบในโครเวฟ

3. วัตถุประสงค์

3.1 เพื่อติดตั้งระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นในโครเวฟกำลังสูงกับเครื่องอบแห้งแบบหมุน

3.2 เพื่อติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อวัดความชื้น และการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชน

3.3 เพื่อพัฒนาระบบป้องกันคลื่นร้าว และการรักษาความปลอดภัยจากคลื่นร้าว

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ได้เทคโนโลยีต้นแบบในโครเวฟในการทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบหมุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งขยะมูลฝอยชุมชนที่มีความชื้นสูง

4.2 ได้เครื่องต้นแบบในโครเวฟทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบหมุน

4.3 เครื่องตั้งแบบไมโครเวฟที่ทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบหมุนสามารถลดการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ 10-15 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบหมุนที่ใช้ลมร้อน

5. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับ雷达ในสมัยสังคมโลกครั้งที่สอง[1] สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในวัสดุต่างๆด้วยความเร็วแสงแล้วทำให้วัสดุร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยกระบวนการที่เรียกว่า Dielectric heating[2] กระบวนการดังกล่าวทำให้พลังงานของคลื่นไมโครเวฟซึ่งอยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้มากมาย เช่น การอบแห้ง การฆ่าเชื้อโรค การคงรูปยาง (vulcanization) การเร่งปฏิกิริยาเคมี การกำจัดสารพิษ และการกำนิดพลาสma[2] เป็นต้น

ในกระบวนการอบแห้งจะซึ่งประกอบด้วยวัสดุชีวภาพและขยะน้ำ จะใช้คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟที่จะตอบสนองต่อโมเลกุลชนิดต่างๆ ไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงไดอิเลคทริกของวัสดุนั้นๆ [2],[3] คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำได้ดีที่สุด เนื่องจากความถี่ของการหมุนของโมเลกุลของน้ำซึ่งมีความเป็นเชิงข้าม(Dipole)สูงกับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz กิດการกำทอน(Resonance)กัน ทำให้น้ำสามารถดูดพลังงานของคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยพลังงานของคลื่นไมโครเวฟมีผลกระทบต่อวัสดุอื่นๆน้อยมากน้ำจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนระเหยออกไประหงด ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงใช้ในการระเหยของความชื้นในขยะโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของขยะ

6. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

6.1 การคำนวณกำลังของไมโครเวฟ

เปอร์เซ็นต์ของความชื้น(wet base) M_w ของขยะสามารถคำนวณได้จาก

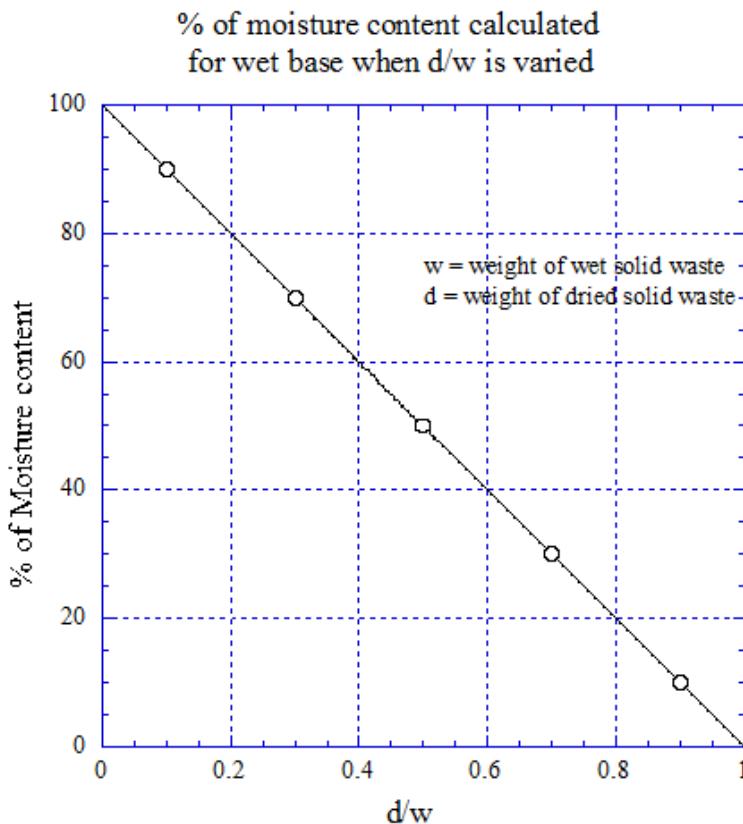
$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \times 100 = \left(1 - \frac{d}{w}\right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_w คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

w คือมวลเริ่มต้น(เปียก)ของขยะ

d คือมวลแห้งของขยะ

ค่า M_w จะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วน d/w เมื่อคำนวณโดยมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงค่า M_w ที่อัตราส่วน d/w ต่างๆ กัน เมื่อใช้มาตราฐานเปียก(Wet base)

ในการอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอบแห้ง ถ้าให้ M_w^i เป็นความชื้นเริ่มต้นของขยะ โดยมีมวลเปียกของขยะเท่ากับ w_i มีอุบัติไมโครเวฟเป็นเวลา t วินาที มวลเปียกของขยะจะลดลงเหลือเท่ากับ w_f และมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ M_w^f

$$\text{จากสมการที่ 1 จะได้ว่า } M_w^i = \frac{w_i - d}{w_i} \text{ และ } M_w^f = \frac{w_f - d}{w_f} \text{ ดังนั้น}$$

$$w_i = \frac{M_w^i}{100} w_i + d \quad (2)$$

$$w_f = \frac{M_w^f}{100} w_f + d \quad (3)$$

ถ้าให้ Δw คือมวลของน้ำที่ระเหยออกไปหลังจากการอบ โดยที่

$$\Delta w = w_i - w_f = \frac{M_w^i}{100} w_i - \frac{M_w^f}{100} w_f \quad (4)$$

เนื่องจากไม่ทราบค่า w_i ดังนั้นจะใช้กราฟระหว่าง d/w กับ M_w ในรูปที่ 1 หาค่า w_i ซึ่งเป็นพังก์ชันของ w_f , d/w

$$\text{ถ้าให้ } \frac{d}{w_i} = x \text{ หรือ } d = w_i x \quad (5)$$

$$\text{และ } \frac{d}{w_f} = y \text{ หรือ } d = yw_f \quad (6)$$

ดังนั้น จากสมการที่ 5 และ 6 จะได้ว่า

$$w_i = \frac{y}{x} w_f \quad (7)$$

แทนค่า w_i จากสมการ 7 ในสมการ 4 ดังนั้น

$$\Delta w = \frac{w_i}{100} \left(\frac{y}{x} M_w^i - M_w^f \right) \quad (3.8)$$

โดยที่ค่า x/y สามารถหาได้จากการฟ์ความสัมพันธ์ระหว่าง d/w กับ M_w ในรูปที่ 1

ดังนั้นเมื่อทราบค่า Δw จะสามารถคำนวณหาค่า SEC ได้ โดยที่

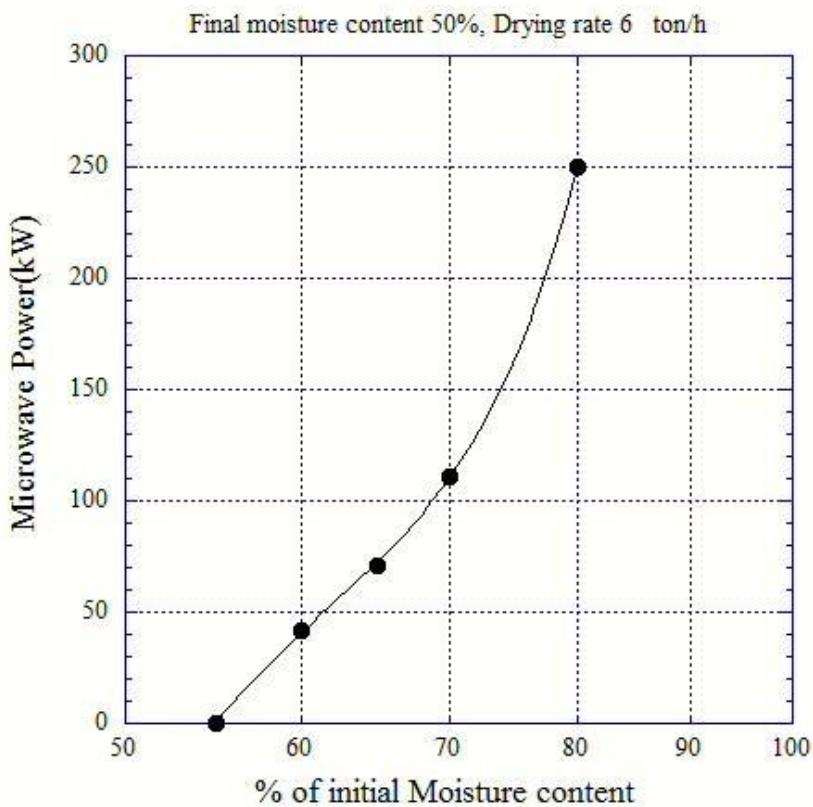
$$\begin{aligned} \text{SEC} &= \frac{\text{Energy used for drying}}{\text{Kg of evaporated water}} = \frac{\text{Microwave power} \times \text{time}}{\Delta w} \\ &= \frac{P(\text{Watt})t(\text{s})}{10^6 \Delta w(\text{kg})} \quad \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

เมื่อ P คือกำลังของคลื่นไมโครเวฟ มีหน่วยเป็นวัตต์ คือเวลา มีหน่วยเป็นวินาที

ในการอบแห้งขยะที่มีความชื้นเริ่มต้น 55-80 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการอบแห้งขยะ 6 ตัน(output)/ชม. โดยใช้ค่า SEC 0.1 MJ/kg จะต้องใช้กำลังไมโครเวฟดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 เทียบค่า Specific energy consumption (SEC) ในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและวิธีอื่นๆ

Dried materials	Methods	SEC(MJ/kg)
Okara (ผลิตภัณฑ์จาก Soymilk)	Jet spouted bed with hot air 55-130 °C[4]	1.6 – 4.1
vegetable starch solutions	Jet spouted bed with hot air 140-240 °C[5]	3 - 5
Rice grain	Fluidized-bed drying with hot air 90-150 °C[6]	4.7-7.0
Barley	FIR – convection[7]	12.1 – 20.3
Oion	Osmo – convective drying[8]	7.2 – 12.6
Carrot	Microwave[9]	0.4 – 1.4
Pumpkin	Microwave – air drying[10]	0.1 – 0.6



รูปที่ 2 แสดงค่ากำลังไมโครเวฟเมื่ออบแห้งขยะ 60 ตัน/ชม. ที่ปรับเรือนต่ำชั้นเริ่มต้นต่างๆ ให้เหลือ 50 เปอร์เซ็นต์

6.2 การจำลองการส่งคลื่นไมโครเวฟเข้าไปในเครื่องอบแห้งแบบหมุน

ในการจำลองการกระจายตัวของคลื่น จะใช้ขนาดของเครื่องอบแห้งแบบหมุนในส่วนงานรับผิดชอบของบริษัท ไออีซี กาวิน เอนเนอร์ยี่ จำกัด ที่ติดตั้งที่โรงงานกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนและเปรียบเป็นพลังงานไฟฟ้า เทศบาลนครหาดใหญ่ ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นท่อทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 เมตรยาว 15 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 โดยจะใช้แมกนีตرونความถี่ 2.45 GHz เนื่องจากสามารถระบายน้ำร้อนด้วยลมได้ ซึ่งจะทำให้สามารถติดตั้งบน เครื่องอบแห้งแบบหมุนโดยไม่มีความยุ่งยากในการติดตั้งระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ ในการจำลองจะติดตั้งแมกนีตرونในช่วง 5 เมตรแรก เพื่อลดความชื้นที่เข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบหมุนซึ่งมีความชื้นสูง 50-70% จะติดตั้งแมกนีตرونตำแหน่งละ 4 หัวรอบๆ เครื่องอบแห้งแบบหมุนโดยแต่ละหัวทำมุก กัน 90 องศา โดยจะติดตั้ง 5 ตำแหน่ง ซึ่งจะใช้แมกตرونจำนวน 20 หัว กำลังไมโครเวฟทั้งหมด 30 kW ดังรูปที่ 5

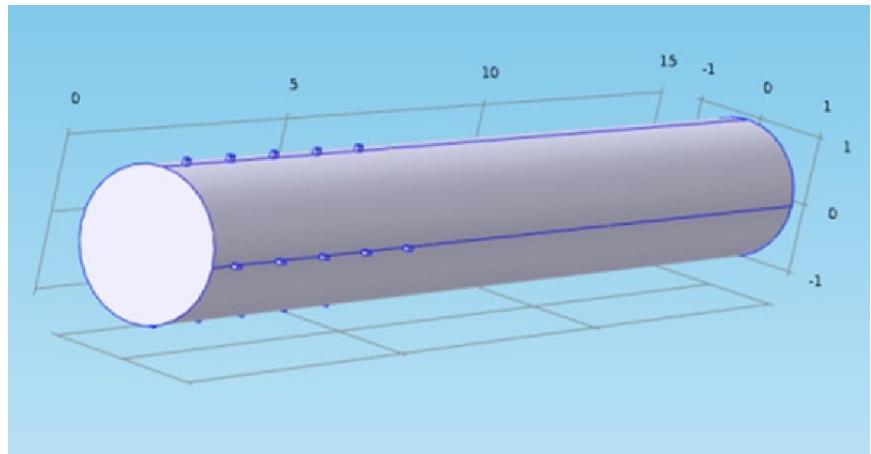
จากการจำลองในรูปที่ 6 พบว่าคลื่นจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดช่วงที่มีการติดตั้งแมกนีตرون ซึ่งจะทำให้ขยะที่เคลื่อนที่ผ่านได้รับคลื่นอย่างต่อเนื่อง และสามารถเพิ่มศักยภาพของเครื่องอบแห้งแบบหมุนในการลดความชื้นของขยะร่วมกับลมร้อน



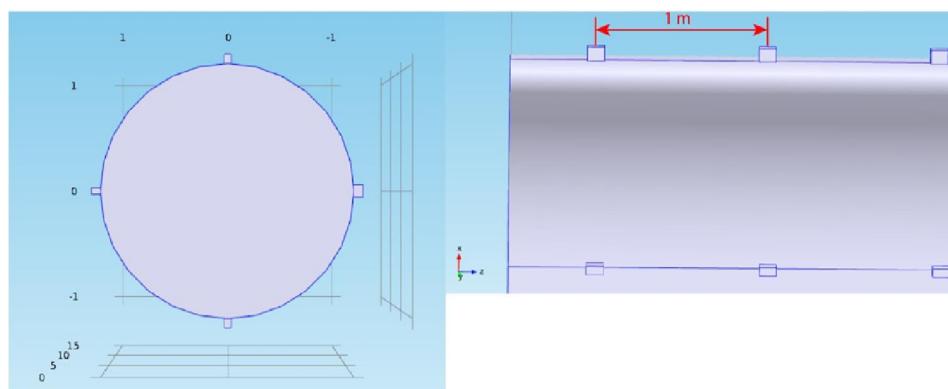
รูปที่ 3 แสดงเครื่องอบแห้งแบบหมุน ติดตั้งที่โรงไฟฟ้ากำจัดมูลฝอยชุมชน เทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา



รูปที่ 4 แสดงภายในเครื่องอบแห้งแบบหมุน ติดตั้งที่โรงไฟฟ้ากำจัดมูลฝอยชุมชน เทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

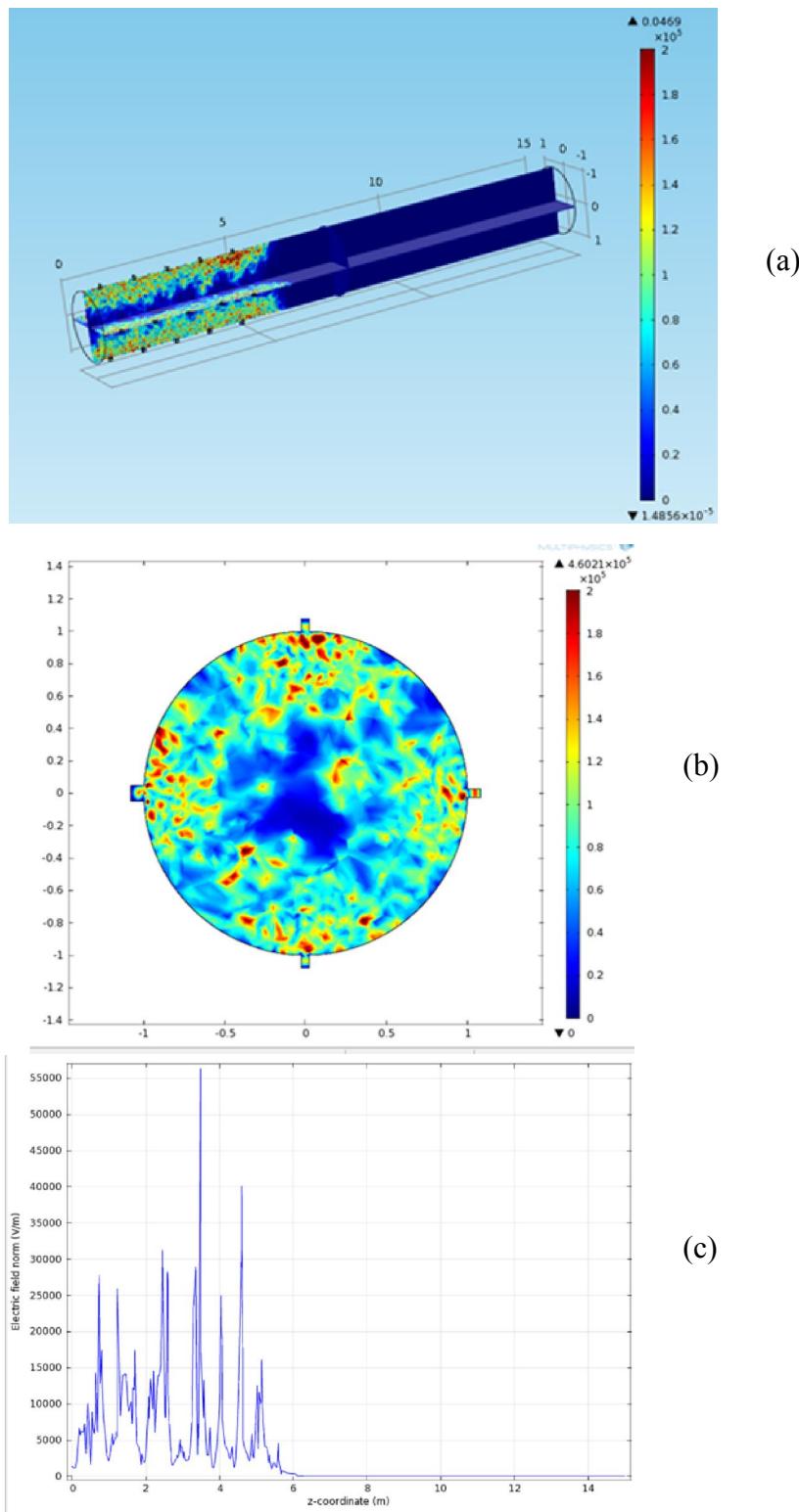


(a)



(b)

รูปที่ 5(a) แบบจำลองแสดงการติดตั้งแมกตรอนบนเครื่องอบแห้งแบบหมุนโดยติดตั้งในช่วง 5 เมตรแรก (b) แต่ละตำแหน่งจะติดตั้งแมกนีตرون 4 หัว แต่ละหัวทำมุมกัน 90 องศา โดยแต่ละตำแหน่งอยู่ห่างกัน 5 เมตร



รูปที่ 6(a) การกระจายตัวของคลื่นในโครงเวฟกायในห้องทดลองช่วง 5 เมตรแรกที่ดัดตั้งแม่กนีตอรอน(b) ภาคตัดขวางแสดงการกระจายตัวของคลื่นในโครงเวฟที่ระยะ 2.5 เมตรจากปากท่อ (c) ความเข้มของสนามไฟฟ้าในแนวแกนของเครื่องอบแห้งแบบหมุน

7. แผนการดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินงาน 8 เดือน

กิจกรรม	เดือนที่ 1-2	เดือนที่ 3-4	เดือนที่ 5 - 6	เดือนที่ 7 – 8
1. การสั่งซื้อแมกนีตรอน หม้อแปลง ห้องน้ำคลีน อุปกรณ์สำหรับไฟฟ้ากำลัง และเซ็นเซอร์สำหรับวัดความชื้นระยะไกลแบบไม่สัมผัส	✓			
2. การประกอบบอร์ดสำหรับควบคุมการทำงานของแมกตรอน การทดสอบโปรแกรม และสอบเทียบ กำลังของแมกนีตรอน	✓			
3. การจำลองคุณสมบัติโดยอิเล็กตริกของขยะ และการศึกษาการดูดคืนในโคลเวฟของขยะ โดยเปรียบเทียบผลของการวัด 200 MHz, 915 MHz และ 2.45 GHz	✓	✓		
3. การติดตั้งและทดสอบการทำงานของเครื่องส่ง กำลังคืนในโคลเวฟ (Microwave generator)		✓		
4. การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้น และการพัฒนาระบบการอบแห้งอัตโนมัติ			✓	
5. จุดหมายสมการอบแห้งขยะให้เหมาะสมกับความต้องการของโรงงาน				✓

8.งบประมาณ

ระยะเวลาดำเนินงาน 8 เดือน

1. ค่าตอบแทน		
- หัวหน้าโครงการ เดือนละ 40,000 บาท เป็นเวลา 8 เดือน	320,000	
- ผู้ช่วยวิจัย 2 คนๆละ 15,000 บาท เป็นเวลา 8 เดือน	240,000	
- วิศวกร	200,000	
2. ค่าอุปกรณ์		
- ชุดระบบกำเนิดกำลังคลื่น ไมโครเวฟ 30kW/915MHz จำนวน 1 ชุด	900,000	
- ชุดกำเนิดคลื่น ไมโครเวฟ 1.5kW/2.45GHz จำนวน 20 ชุดๆละ 15,000 บาท	300,000	
- ชุดควบคุมการส่งกำลัง ไมโครเวฟแบบข้อต่อกัน สำหรับ 1.5kW/2.45GHz จำนวน 20 ชุดๆละ 5,000 บาท	100,000	
- ชุดเซ็นเซอร์สำหรับวัดความชื้นและระบบแสดงผล	100,000	
3. ค่าระบบติดตั้ง		
- ชิ้นงานในส่วนระบบติดตั้งกับเครื่องอบแห้งแบบหมุน	840,000	
		รวม 3,000,000

ເອກສາຮອ້າງອີງ

1. ET Thostenson and TW Chou. Microwave processing: fundamentals and applications. *Composites: Part A*. 1999; **30**, 1055-1071.
2. JM Osepchuk. Microwave power applications. *IEEE Transactions*, 2002; **50**, 975-985 .
3. Y Wang and D Timothy. Dielectric properties of foods relevant to RF and microwave pasteurization and sterilization. *Journal of Food Engineering*. 2003; **57**, 258-68.
4. S. Wachiraphansakul and S. Devahastin, **Drying kinetics and quality of okara dried in a jet spouted bed of sorbent particles**, LWT 40 (2007), p. 207–219.
5. M. Benali and M. Amazouz, **Drying of vegetable starch solutions on inert particles: Quality and energy aspects**, Journal of Food Engineering 74 (2006), p. 484–489.
6. S. Tirawanichakul, S. Prachayawarakorn and S. Soponronnarit, **Drying Strategies based on Diffusion model and Energy Analysis for Fluidized-BedDrying of Paddy**, ກາຣປະຈຸນ
ວິຊາກາຣວິຄວາກຮົມເຄມື່ອງແລະເຄມື່ອງປະຍຸກຕີແຫ່ງປະເທດໄທຍ່າຍຄົງທີ 15, ທລບູວີ. 27-28 ຕຸລາຄມ 2548.
7. T. M. Afzal, T. Abe and Y. Hikida, **Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley**, Journal of Food Engineering, 42 (1999), p.177 – 182.
8. V. Revaskar, G. P. Sharma, R. C. Verma, S. K. Jain and V. K. Chahar, **Drying Behaviour and Energy Requirement for Dehydration of White Onion Slices**, International Journal of Food Engineering, 3(2007).
9. J. Wang and Y. S. Xi, **Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process**, Journal of Food Engineering, 68 (2005), p. 505–511.
10. I. Alibus, **Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices**, LWT 40 (2007), p. 1445–1451.



ทองม้วนสุดจากข้าวกล้องไข่่นครีน

ส่วนผสม

- แป้งมัน 1 ถ้วยคัว
- น้ำคัลป์ 4 ช้อนโต๊ะ
- เกลือป่น 1 ช้อนชา
- ไข่ไก่ 4 ฟอง
- ข้าวกล้องไข่่นครีน (ข้าวสาร) บดละเอียด 1 1/2 ถ้วยคัว
- แป้งข้าวเจ้า 2 ถ้วยคัว
- งาคำ 1 ช้อนโต๊ะ
- น้ำกะทิ 3 ถ้วยคัว
- น้ำใบเตยสด 2 ถ้วยคัว

วิธีการทำ

1. นำน้ำกะทิผสมกับน้ำคัลป์เป็นและเกลือป่น นำไปตึ้งไฟอ่อน ๆ เคี่ยวจนน้ำคัลป์เบลลาอย แล้วจึงทิ้งไว้ให้เย็น
2. นำข้าวกล้องไข่่นครีน (ข้าวสาร) บดละเอียดแล้วร่อนด้วย ตะแกรง และพักไว้
3. นำแป้งข้าวเจ้า แป้งมันและข้าวกล้องไข่่นครีนบดละเอียด ผสมให้เข้ากัน แล้วจึงตอกไข่ใส่ลงไป
4. เมื่อแป้งผสมกันไปจะเกิดคล้ายนาฬิกาจับด้วยนิ้วห้องจะต้อง ทำการบีบให้ก้อนแป้งเกิดการแตกกระจายด้วยอุบัติเหตุ
5. ค่อย ๆ เดินน้ำกะทิที่เตรียมได้มาล้างน้ำอิอกครึ่ง ก่อนนำไปใส่ในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ จากนั้นจึงเดินน้ำสะอาดลงไป เพื่อทำการปั่นผสมให้เข้ากัน แล้วจึงนำไปกรองลงในหม้อ จากนั้นจึงนำไปตึ้งไฟอ่อน ๆ ประมาณ 30 นาที แล้วจึงเดิน เกลือป่นลงไปเพื่อปรุงแต่งรสชาติ
6. นำส่วนผสมที่ผสมเสร็จแล้วการองด้วยตะแกรงแล้วคนผสมกัน อิอกครึ่งก่อนนำ去做成形ใส่ลงใน ทาน้ำมันน้ำแข็งบนกระดาษ รองรับด้วยหยอดแป้งที่เตรียมไว้แล้ว รองสุก ซึ่งคุณได้จากแผ่นแป้งจะมีการพองตัวขึ้นมาและขอบ แผ่นแป้งจะมีสีน้ำตาลอ่อน ๆ แล้วจึงทำการม้วน ในขณะที่ขึ้นยังร้อน



น้ำข้าวกล้องไข่่นครีนออก

ส่วนผสม

- ข้าวกล้องไข่่นครีน 50 กรัม
- น้ำเปล่า 5 ถ้วยคัว
- เกลือป่น 1/2 ช้อนชา

วิธีการทำ

1. นำเมล็ดข้าวกล้องไข่่นครีนมาทำการแห้งน้ำเป็นเวลา 4 ชม. เมื่อครบกำหนดเวลาจึงล้างด้วยน้ำสะอาดก่อนจะทำการสกัดน้ำ ให้แห้ง แล้วนำไปเทใส่กล่องพลาสติกที่มีฝ้าปิด เก็บไว้ในที่มืด เป็นเวลา 6 ชม. เมื่อครบกำหนดนำข้าวกล้องมาล้างอิอกครึ่ง แล้วนำไปเก็บในที่มืดอีก 14 ชม. ซึ่งเมื่อครบเวลาจะเห็นราก ข้าวกล้องไข่่นครีนออกออกจากเมล็ดข้าวดังภาพด้านล่าง



2. ข้าวกล้องไข่่นครีนออกที่เตรียมได้มาล้างน้ำอิอกครึ่ง ก่อนนำไปใส่ในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ จากนั้นจึงเดินน้ำสะอาดลงไป เพื่อทำการปั่นผสมให้เข้ากัน แล้วจึงนำไปกรองลงในหม้อ จากนั้นจึงนำไปตึ้งไฟอ่อน ๆ ประมาณ 30 นาที แล้วจึงเดิน เกลือป่นลงไปเพื่อปรุงแต่งรสชาติ

ดีดต่อสอดตามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

ห้องปฏิบัติการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศนวัตกรรมพิสิกส์ยืนยัน

สำหรับอุดหนุนการเกษตร

อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม ชั้น D1

โทรศัพท์/โทรสาร 075-67-2971

Email: wu_essentialoil@hotmail.com

Website: http://essentialoil.wu.ac.th/



ข้าวกล้องไข่่นครีน
เป็นข้าวที่อุดมไปด้วย
แร่ธาตุและโปรตีนในปริมาณสูง

มีแหล่งเพาะปลูกอยู่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช
ลักษณะทั่วไปของเมล็ดข้าวไข่่นครีน คือ
ข้าวเปลือกมีสีน้ำตาล ส่วนข้าวกล้องมีลักษณะ
สีขาวคุณ มีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ใน
ช่วงร้อยละ 7.35 - 10.36 ซึ่งจัดว่าเป็นปริมาณ
โปรตีนสูงยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุหลากหลายชนิด
เช่น ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียม สังกะสี
แมงกานีส ชิลีเนียม และทองแดง ซึ่งเป็นแร่ธาตุ
ที่สำคัญคือร่างกาย



สูตรอาหารจากข้าวไข่เม็ดคริ้นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

ข้าวเกรียบ ข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้น รสต้มยำ

ส่วนผสม

- ข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้น (ข้าวสาร) บดละเอียด 200 กรัม
- แป้งมัน 300 กรัม
- พริกไทยป่น 10 กรัม
- น้ำ calamansi 5 กรัม
- ราดักหะป่น 2 กรัม
- กะเพรา 10 กรัม
- แป้งสาลี 1 1/2 ช้อนโต๊ะ
- ผงปูร์สตัมยำ

วิธีการทำ

1. นำข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้นที่บดละเอียดแล้วมาผสานกับแป้งมันให้เป็นเนื้อเดียวกัน
2. เดินกรະเทียมบด พริกไทยป่น เกลือ น้ำ calamansi แป้งสาลี และราดักหะป่นลงไปผสมให้เข้ากัน
3. นำแป้งที่เตรียมได้มาวดัดให้เข้ากันโดยใช้ไม้กวาดไข่ตุ่นลงไปผสมแล้วปืนให้เป็นทรงกระบอก จากนั้นจึงนำไปนึ่งให้สุกโดยใช้ไฟปานกลาง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำแป้งที่นึ่งสุกแล้วพักไว้ให้เย็น ก่อนนำไปเผาด้วยเชื้อด้วย 1 คิน จากนั้นนำแป้งข้าวเกรียบที่ได้มาทำการทวนเป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ก่อนนำ去อบต่อ โดยวิธีการหยอดต้องตั้งกระทะให้ส่วนมันๆ หันไปด้านใน ให้กระทะร้อนร้อนได้ที่จึงนำข้าวเกรียบลงไปหยอดและเรียงกันแน่นหนา
5. นำข้าวเกรียบที่หยอดเสร็จแล้วมาคลุกเคล้ากับผงปูร์สตัมยำ และเพิ่มกลิ่นหอมด้วยพริก ตะไคร้ และใบมะกรูดหยอด



คุกกี้ข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้น

ส่วนผสม

- ข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้น (ข้าวสาร)
- บดละเอียด 2 ถ้วยคัว
- แป้งสาลีอ่อนประ sagt 2 ถ้วยคัว
- น้ำ calamansi 6 ช้อนโต๊ะ

- ข้าวตอกจากข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้น 1/2 ถ้วยคัว

- แมยจิค 1 ก้อน (227 กรัม)
(ແງ່ງແນຍຈົດອອກມາເລັກນ້ອຍເພື່ອໃຫ້ສໍາໜັກທາບນັດເວລາອົບ)
- ไข่ไก่ 1 ฟอง
- ผงฟู 1/2 ช้อนชา
- เกลือ 1/2 ช้อนชา

วิธีการทำ

1. นำข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้น (ข้าวสาร) มาบดละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรง จากนั้นจึงนำไปผสมกับแป้งสาลี ผงฟู เกลือ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงทำการร่อนอีกครั้งและพักไว้
2. นำเนยจิคและน้ำ calamansi ตามสูตรและน้ำตาลรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำไปนึ่งให้เดือด 1 นาที แล้วนำไปต้มอีกครั้ง ให้เดือดอีกครั้ง 1 นาที
3. นำไข่มาเติมลงในส่วนผสมและทำการวนคึ้นให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นจึงนำข้าวตอกผสมลงไปแล้ววนคึ้นให้เข้ากัน
4. นำส่วนผสมที่ได้มาปั่นเป็นรูปค่างๆ ตามต้องการหรือเทลงในพิมพ์ แล้ววางลงในถาดที่ทาเนยเอาไว้ ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 8-10 นาที



ไอศครีมข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้น

ส่วนผสม

- ข้าวไข่เม็ดคริ้นหุงสุก 2 ถ้วยคัว
- น้ำกะทิสด 2 เถ้าคัว
- น้ำ calamansi 4 ช้อนโต๊ะ
- เกลือป่น 1/2 ช้อนชา

วิธีการทำ

1. นำเมล็ดข้าวสารของข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้นไปแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปหุงเป็นข้าวสุกโดยใช้มือหุงข้าว
2. นำส่วนผสมทั้งหมดคือข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้นหุงสุก น้ำกะทิสด น้ำ calamansi และเกลือป่น ใส่ลงในเครื่องปั่นนำ้ำผลไม้แล้วจึงทำการปั่นส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะต้องมีลักษณะเนียนและข้นแล้วกันนอย
3. นำส่วนผสมทั้งหมดเทใส่กล่องพลาสติกและปิด จากนั้นจึงนำไปแช่แข็งในตู้เย็นที่ช่องแช่แข็งเป็นเวลา 1 คืน ก็จะได้ไอศครีมข้าวกล้องไข่เม็ดคริ้นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง