รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงของสารสกัดสมุนไพรที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ

Development of powder product of herb extract suitable for aquatic animals

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2557

จำนวน ๒๘๐,๐๐๐ บาท

หัวหน้าโครงการ นางจิราพร โรจน์ทินกร

ผู้ร่วมโครงการ นายวิวัฒน์ หวังเจริญ

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

31 พฤษภาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงของสารสกัดสมุนไพรที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ (Development of powder product of herb extract suitable for aquatic animals) ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีงบประมาณ 2557

ขอขอบพระคุณ Prof. Dr. Kishio Hatai Division of Fish Diseases, Faculty of Veterinary Medicine Nippon Veterinary and Animal Science University ที่ได้สนับสนุนเชื้อราน้ำ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์การวิจัย และสาธารณูปโภคในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ นักศึกษาช่วยงาน และบุคลากรในคณะฯ ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	24
ผลการวิจัยและวิจารณ์	26
สรุปผลการวิจัย	31
เอกสารอ้างอิง	32

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	สมุนไพรที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อแบคทีเรียในสัตว์น้ำ	8
ตารางที่ 2	สมุนไพรที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อไวรัสในสัตว์น้ำ	9
ตารางที่ 3	สมุนไพรที่มีฤทธิ์เสริมระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ	10
ตารางที่ 4	การเปรียบเทียบ น้ำหนัก ปริมาตร และเวลา ในการทำแห้ง 2 เทคนิค	26
ตารางที่ 5	ผลการก่อโฟมด้วยสารก่อโฟมสูตรต่างๆ	28
ตารางที่ 6	ลักษณะของโฟมระหว่างการอบแห้ง	29

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	หลักการระเหิด	11
ภาพที่ 2	กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	13
ภาพที่ 3	อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง	13
ภาพที่ 4	การเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งด้วยเทคนิคต่างๆ	14
ภาพที่ 5	กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	15
ภาพที่ 6	แผนผังการทำงานของระบบสุญญากาศและระบบให้ความร้อนของเตาอบ	17
ภาพที่ 7	การทำแห้งสารสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิคพ่นฝอย	19
ภาพที่ 8	ตำแหน่งที่เก็บสารสำคัญในโครงสร้างเซลล์ของกระเทียม	21
ภาพที่ 9	สูตรโครงสร้างสารที่พบในกระเทียม	21
ภาพที่ 10	โครงสร้างทางเคมีของสารก่อโฟม	27
ภาพที่ 11	ลักษณะของโฟมที่ได้	28
ภาพที่ 12	ลักษณะของสารละลายที่ไม่ขึ้นโฟม	29
ภาพที่ 13	ลักษณะความคงตัวของโฟมที่อบ	30

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงของสารสกัดสมุนไพรที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ

Development of powder product of herb extract suitable for aquatic animals

จิราพร โรจน์ทินกร[1]และวิวัฒน์ หวังเจริญ[2]

Jiraporn Rojtinnakorn[1] and Wiwat Wangcharoen [2]

[1]คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[2]คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปัญหาสำคัญ คือ การเกิดโรคระบาดในสัตว์น้ำ ทำให้เกิดความเสียหายอย่างมาก และเกษตรกรจะต้องใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมี ส่งผลให้มีการตกค้างในเนื้อของผลิตภัณฑ์สัตว์ และตกค้างในสิ่งแวดล้อมเช่นกัน การใช้สมุนไพรเป็นทางเลือกสำคัญ เพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะและสารเคมี โดยจะช่วยส่งเสริมการผลิตสัตว์น้ำปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการแปรรูปสารสกัดกระเทียมให้อยู่ในรูปผงแห้ง ด้วยกระบวนการที่มีต้นทุนต่ำ เพื่อเป็นข้อมูลในการผลิตผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งจะส่งเสริมให้มีการผลิตและใช้สารสกัดสมุนไพรในเชิงพาณิชย์ได้จริงในฟาร์ม

ทำการเตรียมสารสกัดกระเทียมด้วยน้ำและเอทานอล นำไปทำแห้งด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็ง (freeze drying) กระบวนการพ่นฝอย (spray drying) และกระบวนการอบแห้งสุญญากาศ (vacuum dry) พบว่าการทำแห้งด้วยกระบวนการพ่นฝอยที่ inlet temperature 150 ^{O}C ทำให้ฤทธิ์ชีวภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดกระเทียมลดลงเหลือ 59.06 % ส่วนการอบแห้งโดยใช้สารก่อโฟม 3 ชนิด ได้แก่ (1) maltodextrin (2) hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) และ (3) sodium carboxymethyl cellulose (CMC) พบว่าการใช้สารก่อโฟม ประกอบด้วย maltodextrin 25% และ HPMC 1% ทำการอบที่ 65 ^{O}C นาน 150 นาที จะได้ลักษณะของผงสารสกัดที่ดี

คำสำคัญ: การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สารสกัดสมุนไพร รูปแบบผลิตภัณฑ์ กระเทียม

Abstract

In aquaculture industry, the particular problem is disease outbreak in aquatic animals, causing serious damage. Farmers have to apply antibiotics and chemicals, result in leaving residues in meat products as well as in environment. Herbs have been considered as an important alternative to replace antibiotics and chemicals. This will promote food safety for farmers and consumers, and environmentally friendly.

This research has studied the processing of garlic extract in form of dry powder, with low cost for production of herbal extracts suitable in aquaculture. This will encourage commercial production of herbal extracts and practically in farm.

Garlic extract were prepared with water and ethanol. The drying process by freeze drying, spray drying and vacuum drying techniques were studied. It was found that spray drying process at inlet temperature of 150 ^{o}C effecting to decreasing biological activity of antibacteria to 59.06%. For vacuum drying, 3 foam fillers were tested, i.e. (1) maltodextrin, (2) hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and (3) sodium carboxymethyl cellulose (CMC). It showed that foam filler containing maltodextrin 25% and HPMC 1%, oven at 65 ^{o}C for 150 minutes resulted in good characteristics of extract powder.

Keywords: aquaculture, herb extract, product form, garlic

คำนำ

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งการผลิตสัตว์น้ำเพื่อส่งออกและการบริโภคภายในประเทศ โดยมีอัตราการขยายตัวสูงเป็นทวีคูณ ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (2541-2550) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2552)

ในการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดมีการเพิ่มพื้นที่ 2.5 เท่า และผลผลิตเพิ่มขึ้น 2.2 เท่า ส่วนการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลมีพื้นที่การเลี้ยงลดลง 0.47 เท่า แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้น 1.36 เท่า แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มผลผลิต สำหรับปลาน้ำจืดทำโดยการเพิ่มพื้นที่เลี้ยง ส่วนกุ้งทะเลทำโดยการเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยง

ภาวะการเกิดโรคระบาดในสัตว์น้ำ เป็นปัญหาสำคัญของระบบการผลิตสัตว์น้ำทั้งในการเพิ่มพื้นที่การเลี้ยงและการเพิ่มความหนาแน่นของสัตว์น้ำ เกษตรกรจึงมีความจำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีเพื่อกำจัดและป้องกันการเกิดโรค ทำให้เกิดปัญหาสารตกค้าง ซึ่งเป็นปัญหามายาวนาน ในปี 2545 มีตรวจพบคลอแรมฟีนิคอลและไนโตรฟูแรนปริมาณเกินกำหนดในผลิตภัณฑ์กุ้งทะเล และกรมประมงได้มีมาตรการเข้มงวดในการควบคุมและตรวจสอบยาตกค้าง 2 ชนิดนี้ (อมรชัย, 2545) ต่อมาในปี 2549 ได้ตรวจพบมาลาไคท์กรีนในผลิตภัณฑ์กุ้งส่งออกไปสาธารณรัฐเกาหลี (Nicaonline, 2549) อย่างไรก็ตาม ในปี 2554 ได้ตรวจพบออกซีเตตร้าไซคลินและซัลฟาไดอาซีนในกุ้งทะเลส่งออกไปญี่ปุ่น ทำให้กรมประมงต้องมีการกวดขันอย่างเข้มงวดอีกครั้ง (คมชัดลึก, 2554) โดยในแต่ละครั้งที่มีข่าวการตรวจพบยาตกค้างในผลผลิตภัณฑ์กุ้งและประกาศการควบคุม จะต้องมีการเพิ่มรายการยาปฏิชีวนะต้องห้ามหลายกลุ่ม

จะเห็นได้ว่า การป้องกันและรักษาโรคในฟาร์มสัตว์น้ำ เกษตรกรยังไม่มีทางเลือกอื่นที่ดีกว่าการใช้ยาปฏิชีวนะ ทำให้ต้องมีการใช้ยาปฏิชีวนะชนิดอื่นๆที่ไม่ได้อยู่ในรายการประกาศควบคุมและมีผลทำเกิดการตกค้างตามมาในภายหลังเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีอันตรายอื่น เช่น การใช้มาลาไคท์กรีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งระดับสูง เพื่อป้องกันและรักษาโรคเชื้อราน้ำและโปรโตซัวในโรงเพาะฟักและปลาสวยงาม เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำไม่ปลอดภัยในการบริโภคและมีคุณภาพต่ำสำหรับการส่งออก และไม่ปลอดภัยต่อผู้เลี้ยง ได้มีการวิจัยเพื่อใช้สารเคมีชนิดอื่น เช่น ไตรฟูราลินและโซเดียมไฮโปคลอไรท์แทนมาลาไคท์กรีน เป็นต้น อย่างไรก็ตามสารเคมีเหล่านี้ก็ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ประเทศไทยเสียดุลการค้าได้

กลุ่มเกษตรกรเพาะเลี้ยงกุ้งและปลาได้มีความพยายามนำสมุนไพรมาใช้ เช่น การนำมาปั่นผสมอาหารทำเองในฟาร์ม การทำน้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น แต่ยังไม่มีวิธีการและมาตรฐานการใช้

ทำให้ประสบปัญหาความไม่แน่นอนของประสิทธิภาพ ความปลอดภัย การควบคุมคุณภาพของสมุนไพร ปริมาณความคงที่ของสารสำคัญ อาจจะมีผลต่อคุณภาพน้ำ และจะต้องทำอาหารเอง

จิราพร โรจน์ทินกร และคณะ ได้ทำศึกษาวิจัยการใช้สารสกัดสมุนไพรไทยในสัตว์น้ำ พบว่า สารสกัดสมุนไพรไทยหลายชนิดมีฤทธิ์ในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราน้ำก่อโรคในสัตว์น้ำได้ดี และที่สำคัญในขณะเดียวกันสารสกัดสมุนไพรยังมีประสิทธิภาพช่วยกระตุ้นการทำงานทางสรีระของสัตว์น้ำได้เป็นอย่างชัดเจน เช่น ระบบภูมิคุ้มกัน เอนไซม์ย่อยอาหาร เร่งการเจริญพันธุ์ เป็นต้น (จิราพร, 2542; จิราพร และอัญชลี, 2549; อัญชลี, 2550; อัญชลี และจิราพร, 2550; จิราพร และคณะ, 2551, 2552(1), 2552(2), 2552(3), 2552(4); 2552(5), 2555; Rittiplang และคณะ, 2011; จิราพร และฐิติพร, 2555) โดยได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้สารสกัดสมุนไพรให้แก่เกษตรกรในพื้นที่เพื่อให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผู้สนใจได้เข้าใจ สามารถเตรียมสารสกัดสมุนไพรอย่างง่ายด้วยตนเอง และนำไปใช้ได้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ด้วยทุนสนับสนุนจากโครงการบริการวิชาการของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปี 2554 และ 2555 อย่างไรก็ตาม เทคนิคการเตรียมสารสกัดสมุนไพรอย่างง่ายดังกล่าวมีข้อจำกัดสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และขนาดกลาง ซึ่งต้องใช้สารสกัดสมุนไพรปริมาณมากในแต่ละวัน อายุการเก็บของสารสกัดสมุนไพร และคุณภาพของสารสกัดไม่แน่นอน เนื่องจากวัตถุดิบสมุนไพรในแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกัน

การใช้สารสกัดสมุนไพรในมนุษย์ได้รับการยอมรับว่าเป็นทางเลือกที่ดี สำหรับการป้องกันและรักษาโรค (Lovkova et al., 2001; Quiroga et al., 2001; Stafford et al., 2005; Silva and Fernandes, 2010; Patil et al., 2011; Krishnaiah et al., 2011) และได้มีการศึกษาวิจัยการเตรียมสารสกัดสมุนไพรในรูปผงแห้งกันอย่างกว้างขวาง เพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้งานทดแทนยาเคมีสังเคราะห์ได้ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งต่าง เช่น พ่นฝอยแห้ง (spray drying) การทำแห้งสุญญากาศ (vacuum dry) เป็นต้น พบว่า กระบวนการทำแห้งหลายเทคนิคสามารถรักษาสภาพของสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆในสารสกัดสมุนไพรไว้ได้ดี เช่น คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ คุณสมบัติการยับยั้งเชื้อรา (Aniya และคณะ, 2002) สารสำคัญของสารสกัดโสม (Liu และคณะ, 2009) คุณภาพของอินซูลิน (Schiffter และคณะ, 2010) เป็นต้น แต่ยังไม่มีรายงานการวิจัยเช่นนี้ที่จำเพาะสำหรับสัตว์น้ำ

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจะทำการทดสอบหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งสารสกัดสมุนไพรไทยที่มีประสิทธิภาพดีและเหมาะสมในสัตว์น้ำ ต้นทุนต่ำ ทั้งจะสามารถรักษาสภาพของสารสำคัญของสารสกัดสมุนไพรไทยที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในสัตว์น้ำดังกล่าวข้างต้นไว้ได้ดีเช่นกัน โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกสารสกัดกระเทียมเป็นตัวแทนสารสกัดสมุนไพร เนื่องจากในงานวิจัยที่มีมาก่อน ผู้วิจัยพบว่าสารสกัดกระเทียมมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีหลายประการในกุ้งและปลา

ผู้วิจัยคาดว่าผลจากการวิจัยครั้งนี้ จะช่วยสนับสนุนการใช้สารสกัดสมุนไพรไทยทดแทนยาปฏิชีวนะและสารเคมีในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ เป็นการส่งเสริมการผลิตสัตว์น้ำปลอดภัย และสามารถใช้ได้ในระบบการผลิตสัตว์น้ำอินทรีย์ อีกทั้งเป็นการพัฒนาให้สารสกัดสมุนไพรไทยสามารถไปสู่การส่งออกในระดับสากลในธุรกิจและอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ในอนาคต โดยงานวิจัยนี้จะเป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาเทคนิคการทำสารสกัดสมุนไพรแห้งที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(ระยะเวลา 2 ปี : 2557-2558)

1. เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารสกัดสมุนไพรแห้งสำหรับสัตว์น้ำ และมีต้นทุนต่ำ
2. เพื่อศึกษาคุณภาพทางชีวภาพของสารสกัดสมุนไพรแห้งในห้องทดลอง (in vitro test) และในสัตว์น้ำ (in vivo test)
3. เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของสารสกัดสมุนไพรแห้ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการเตรียมสารสกัดแห้งของกระเทียมที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ
2. เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์สารสกัดแห้งของกระเทียมเพื่อการผลิตสัตว์น้ำปลอดภัย
3. สามารถนำเทคนิคการทำแห้งสารสกัดกระเทียม ที่มีประสิทธิภาพดีและต้นทุนต่ำ ไปใช้ในการเตรียมสารสกัดแห้งของสมุนไพรไทยชนิดอื่นได้
4. สามารถขยายผลในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำแห้งสารสกัดสมุนไพรไทยที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และคาดว่าจะมีการผลิตสารสกัดแห้งของสมุนไพรไทยสำหรับสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์
5. ส่งเสริมการใช้สารสกัดสมุนไพรไทยทดแทนยาปฏิชีวนะและสารเคมี สะดวก และใช้ได้จริง
6. ส่งเสริมการผลิตสัตว์น้ำคุณภาพสูง ปลอดสารเคมี ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และรักษาสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบ GAP CoC และ ระบบอินทรีย์ เป็นต้น
7. สามารถนำองค์ความรู้จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับปศุสัตว์ เพื่อการเพิ่มผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพสูง
8. ส่งเสริมการประมงแบบเศรษฐกิจพอเพียง อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และระบบเกษตรยั่งยืน
9. สามารถนำองค์ความรู้จัดทำเอกสารเผยแพร่ จัดการอบรม ถ่ายทอดให้แก่เกษตรกรเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผู้ที่สนใจทั่วประเทศไทยนำไปประยุกต์ใช้ได้

หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
2. กรมประมง กรมส่งเสริมการเกษตร นักวิชาการ และเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
3. อุตสาหกรรมและธุรกิจที่เกี่ยวข้องด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การตรวจเอกสาร

1. การศึกษาฤทธิ์สารสกัดสมุนไพรในสัตว์น้ำ

จิราพร และคณะ พบว่า สารสกัดกระเทียมด้วยเอทานอล ๕๐% มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อก่อโรคสำคัญในสัตว์น้ำได้ดี ทั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราน้ำ สำหรับเชื้อแบคทีเรียในห้องทดลอง มีค่า MIC = 5 และ 15 ppt และ MBC = 10 และ 20 ppt ต่อเชื้อ *Aeromomans hydrophila* และ Vibrio harveyi ตามลำดับ และสามารถช่วยให้กุ้งก้ามกรามกำจัดเชื้อ A. hydrophila ในกระแสเลือดได้ดีเทียบเท่ากับยาปฏิชีวนะ และยังช่วยเสริมการสร้างเซลล์เลือดได้เช่นกัน (จิราพร, 2542; จิราพร และคณะ, 2552(1); อัญชลี, 2550; อัญชลี และจิราพร, 2550)

ในการศึกษาฤทธิ์ชีวภาพต่อเชื้อราน้ำ ได้แก่ *Saprolegnia declina* *Achlya bisexualis* *Aphanomyces invadans* และ *Laginidium thermophilum* ผู้วิจัย พบว่า สารสกัดกระเทียมด้วยน้ำ ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm ยับยั้งเชื้อราทั้ง 3 ชนิดได้ดี และสามารถเข้าทำลายในระดับโครงสร้างของ zoospore ซึ่งเป็นระยะติดเชื้อในสัตว์น้ำ ให้เกิดความเสียหายจนไม่สามารถพัฒนาเป็นเส้นใยได้ (จิราพร และคณะ, 2552(4); จิราพร และฐิติพร, 2555)

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาผลของสารสกัดสมุนไพรไทยต่อระบบระบบย่อยอาหารของสัตว์น้ำ โดยตรวจวัดค่ากิจกรรมเอนไซม์ย่อยอาหาร พบว่า ในปลานิล ปลาบู่ และกุ้งก้ามกราม สารสกัดกระเทียม สามารถช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร 4 ชนิด คือ อะไมเลส ไลเปส ทริปซิน และไคโมทริปซิน มีผลเร่งการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ได้อย่างน้อย 10% และมีผลให้อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ลดลงอย่างน้อย 30% (จิราพร และคณะ, 2552(5); Rittiplang และคณะ, 2011)

Kolkovski (2013) ได้สรุปว่า ประโยชน์การใช้สมุนไพรในสัตว์น้ำ มีวัตถุประสงค์ 3 ด้าน ได้แก่ การป้องกันและรักษาโรคแบคทีเรีย การป้องกันโรคไวรัส และการเสริมระบบภูมิคุ้มกัน มีงานวิจัยจากหลากหลายประเทศ โดยพืชที่นำมาใช้มีทั้งพืชผักสวนครัว สมุนไพร และวัชพืช

ตารางที่ 1 สมุนไพรที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อแบคทีเรียในสัตว์น้ำ

Botanical name	Family	Distribution	Useful parts	Biological effects in aquaculture
Daemia extenas	Asclepiadeae	India	Leaves and roots	Antibacterial amd immunostimulant
Psoralea corylifolia	Papilionaceae	India	Seeds	Antibacterial
Adathoda vasica	Acanthaceae	India	Whole plant	Antibacterial
Acalypha indica	Euphorbiaceae	India	Whole plant	Antibacterial
Andrographis paniculata	Acanthaceae	India	Whole plant	Antibacterial
Azadirachta indica	Meliaceae	India, Burma	Whole plant	Antibacterial
Artemisaia vulgaris	Compositae	India, Japan	Whole plant	Antibacterial, Antiviral
Elephentopus scaber	Compositae	India, Bengal	Roots and leaves	Antibacterial
Ixora coccinea	Rubiaceae	India	Root	Antibacterial
Leucus aspera	Labiatae	Southern India	Whole plant	Antibacterial
Melia azedarach	Meliaceae	India	Whole Plant	Antibacterial
Murraya koenji	Rutaceae	India	Leaves	Antibacterial
Ocimum sanctum	Labiatae	India	Whole Plant	Antibacterial antiviral, anti stress
Quercus infectoria	Cupuliferae	Greece, Asia, Syria	Galls and Bark	Antibacterial
Solanum surattense	Solanaceae	India	Fruits and Roots	Antibacterial

ที่มา : Kolkovski (2013)

ตารางที่ 2 สมุนไพรที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อไวรัสในสัตว์น้ำ

Botanical name	Family	Distribution	Useful parts	Biological effect in aquaculture
Oenothera biennis	Onagraceae	Japan, Eastern N. America, UK	Seeds, flowers and root	Antibacterial and antiviral
Solanum trilobatum	Solanaceae	India	Whole plant	Antibacterial and immunostimulant
Stellaria aquatica	Caryophyllaceae	Japan	Whole plant	Antibacterial and antiviral
Acorus calamus	Aroideae	India, Burma	Rhizome	Antibacterial and immunostimulant
Cassia alata	Caesalpiniaceae	Tropics	Leaves	Antiviral
Calophyllum inophyllum	Guttiferae	Sea coast of India	Bark, leaves and seed	Antiviral
Tinospora crispa	Menispermaceae	Tropical, Subtropical India	Root and leaves	Antiviral
Momordica charantina	Cucurbitaceae	India	Fruits, seeds and leaves	Antiviral
Phyllanthus niruri	Euphorbiaceae	India, Sri Lanka	Whole plant	Antiviral
Phyllanthus urinaria	Euphorbiaceae	India, USA	Whole plant	Antiviral
Psidium guajava	Myrtaceae	India, Bengal	Bark, fruit and leaves	Antiviral
Ocimum basilicum	Labiatae	India	Whole plant	Antiviral and antibacterial
Tephrosia purpurea	Papilionaceae	Southern India	Leaves and root	Antiviral and antibacterial
Tinospora cordifolia	Menispermaceae	Southern India	Leaves and stem	Antiviral and immunostimulant

ที่มา : Kolkovski (2013)

ตารางที่ 3 สมุนไพรที่มีฤทธิ์เสริมระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ

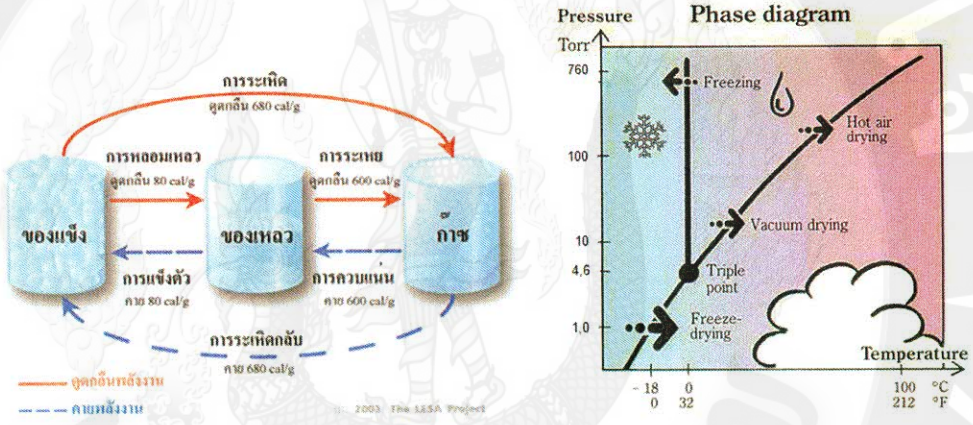
Botanical name	Family	Distribution	Useful parts	Biological effects in aquaculture
Hygrophila spinosa	Acanthaceae	India, Sri Lanka	Whole plant	Growth promoter
Ipomea digitata	Convolvulaceae	Hotter part of India	Root	Growth promoter and immunostimulant
Solanum nigrum	Solanaceae	India	Berries	Growth promoter
Terminaelia arjuna	Combretaceae	India, Burma, Sri Lanka	Bark	Growth promoter
Boerhaevia diffusa	Nyctaginaceae	India, Tibet	Leaf and root	Growth promoter and appetizer
Carica papaya	Caricaceae	India	Fruit	Growth promoter and appetizer
Eclipta erecta	Compositae	India	Whole plant	Hepeto tonic, immunostimulant and antistress
Eclipta alba	Compositae	India	Whole plant	Hepeto tonic, immunostimulant, antiviral and antistress
Cymodon dactycon	Gramineae	India	Leaf and root stalk	Immunostimulant and antibacterial
Emblica officinalis	Euphorbiaceae	India	Whole plant	Immunostimulant and antibacterial
Urtica dioica	Urticaceae	Europe, Turkey, India	Whole plant	Immunostimulant
Vernonia cinera	Compositae	India	Whole plant	Immunostimulant
Viscum album	Loranthaceae	India, Himalayas, Turkey	Berries and leaves	Immunostimulant
Zingiber officinale	Scitaminaceae	India, China, Bengal	Rhizome	Immunostimulant
Picrorrhiza kurvooa	Scrophulariaceae	India	Rhizome	Immunostimulant and antistress
Withania somnifera	Solanaceae	India	Root	Immunostimulant and growth promoter

ที่มา : Kolkovski (2013)

2. เทคนิคการทำแห้งสารชีวภาพ

2.1 เทคนิค freeze drying

กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) หรือการทำแห้งแบบระเหิด (sublimation drying) มีชื่อเรียกเฉพาะว่า "lyophilization" เป็น กระบวนการทำแห้งภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส โครงสร้าง สี กลิ่น และรสชาติ ได้ใกล้เคียง กับของสด แต่เนื่องจากการทำแห้งแบบเยือกแข็งนี้ มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง ทั้งเงินทุนตั้งต้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาทำแห้งแบบเยือกแข็ง จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง เช่น อาหาร เครื่องสำอาง ยา และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์



ภาพที่ 1 หลักการระเหิด

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (มปป.(1))

กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ปัณณธร, 2547) ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก (Main Process) 3 ขั้นตอน คือ การแช่เยือกแข็ง (freezing) การทำแห้งระยะที่ 1 (primary drying) และการทำแห้งระยะที่ 2 (secondary drying) ขั้นตอนย่อยประกอบกระบวนการ ได้แก่ การเตรียมผลิตภัณฑ์ (Preparation Process) และการบรรจุภัณฑ์ และการจัดเก็บ เป็นกระบวนการหลังการผลิต (Post Process) (ภาพที่ 2) มีรายละเอียดของกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน คือ

1) การแช่เยือกแข็ง (freezing) ในขั้นตอนนี้เป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลงจนถึงจุดเยือกแข็งหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ให้น้ำหรือสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์

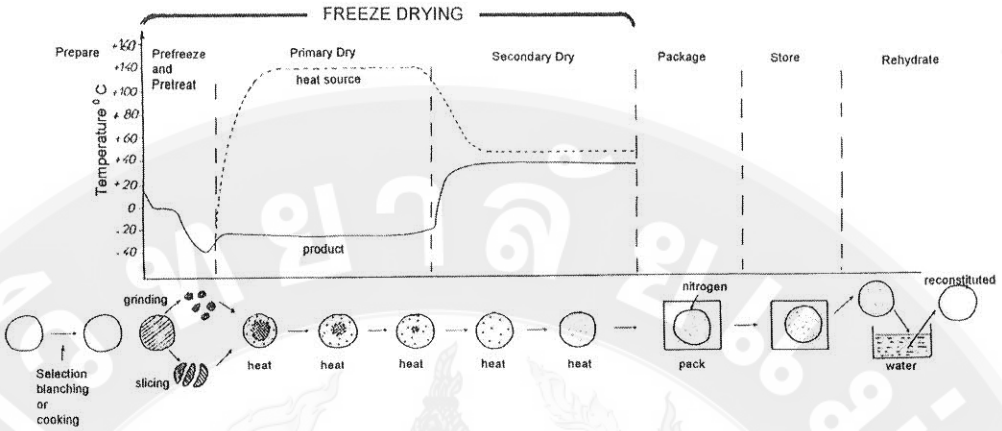
สิ่งสำคัญของขั้นตอนนี้ คือ การเกิดผลึกน้ำแข็ง ระดับความเร็วของการแช่เยือกแข็ง ควรเป็นการแช่แข็งแบบเร็ว (quick freezing) ขึ้นไป เนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก ซึ่งเกิดจากน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์แข็งตัวอย่างรวดเร็ว ลักษณะของผลึกเช่นนี้ ไม่ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เสียหาย แต่การแช่เยือกแข็งแบบช้า (natural freezing) ซึ่งใช้เวลาในการเกิดผลึกนาน ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ เบียดช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้เซลล์แตก โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จะได้รับความเสียหาย การแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี เช่น การแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า การแช่เยือกแข็งแบบสัมผัส และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด เป็นต้น

2) การทำแห้งระยะที่ 1 (primary drying) ขั้นตอนนี้เป็นการลดความดันลง เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระดับของความดันสุญญากาศ ควรอยู่ในระดับสุญญากาศละเอียด (fine Vacuum) ซึ่งมีความดันต่ำกว่า 132 Pa ถึงระดับสุญญากาศสูง (high vacuum) ซึ่งมีความดันต่ำกว่า 132 mPa การระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

3) การทำแห้งระยะที่ 2 (secondary drying) ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดน้ำที่อยู่ในรูปของพันธะกับสารอื่น (bound water) ในผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่ตกผลึกและแข็งตัวไปกับน้ำอิสระ ช่วงการทำแห้งนี้ เรียกว่า "desorption" ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการทำแห้งระยะที่ 1 การระเหิดของน้ำอิสระหมดไป เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแผ่ให้ชั้นน้ำแข็งหมดไป พลังงานจากแหล่งความร้อนจึงถ่ายเทสู่ผลิตภัณฑ์โดยตรง

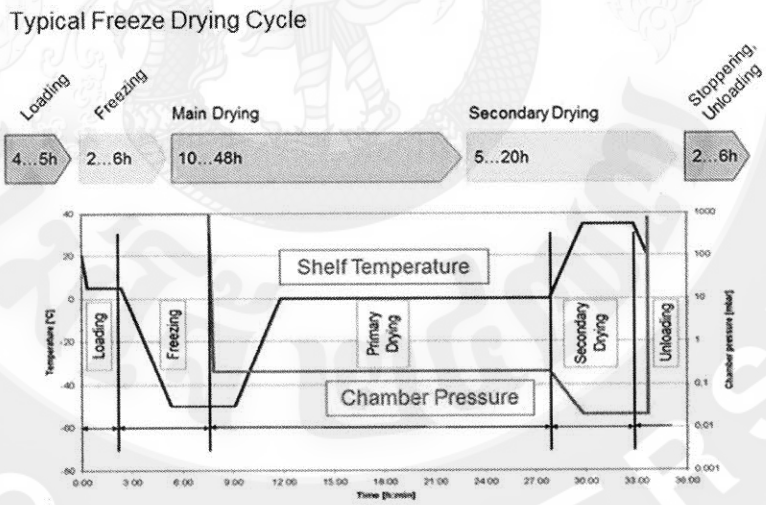
การบรรจุและจัดเก็บผลิตภัณฑ์ทำแห้งแบบเยือกแข็งมีความสำคัญมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความไวต่อการเสียหาย ในสภาพบรรยากาศปกติ คุณสมบัติการดูดความชื้นกลับ (Hygroscopic) ปฏิกิริยากับออกซิเจน ความเปราะบางและการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ การเลือกบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ทำแห้งแบบเยือกแข็งจึงควรมีลักษณะดังนี้ คือ อยู่ภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลง (modify atmosphere) เช่น การบรรจุแบบสุญญากาศ (vacuum pack) หรือการบรรจุแบบเติมไนโตรเจน (nitrogen pack) และอยู่ในภาชนะบรรจุที่มีการป้องกัน เช่น ถุงกันกระแทก กระป๋องพลาสติกหรือโลหะ เป็นต้น

ข้อดีของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นการทำแห้งขณะที่อาหารมีอุณภูมิต่ำจึงลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อน ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง มีการคืนตัว (rehydration) ที่ดี รักษาคุณภาพอาหาร เช่น สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้ง แบบอื่น เช่น การทำแห้งแบบพ่นละออง (spray drier) การทำแห้งด้วยลมร้อน เช่น ตู้อบลมร้อน (tray drier, carbinet drier) แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนทั่วไป



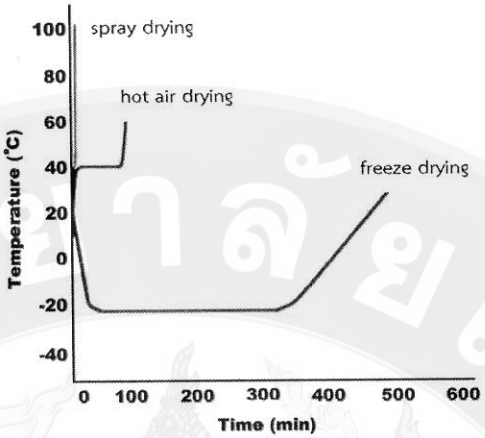
ภาพที่ 2 กระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

ที่มา : ปัณณธร, 2547



ภาพที่ 3 อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

ที่มา : https://empower.pharmacy/freeze-drying-lyophilization.html

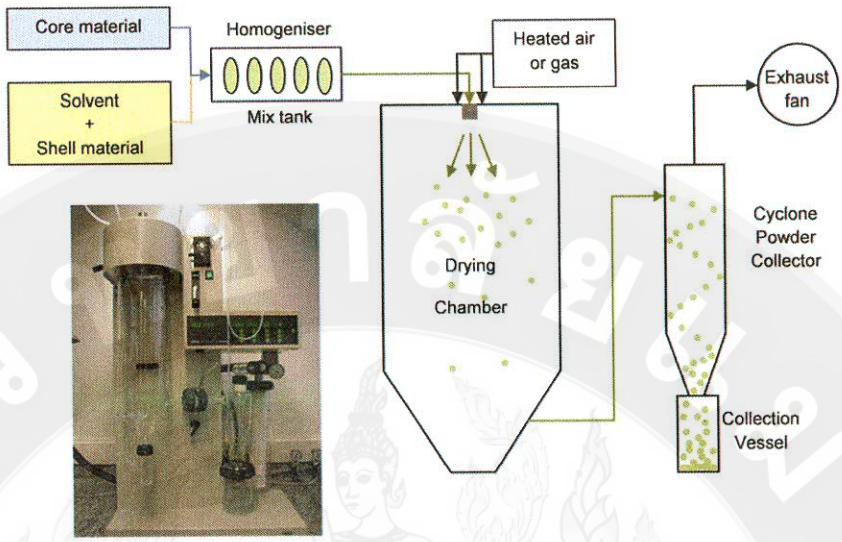


ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งด้วยเทคนิคต่างๆ

ที่มา : ปัณณธร, 2547

2.2 เทคนิค spray drying

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) คือ การทำแห้ง (dehydration) โดยใช้เครื่องพ่นละออง (atomizer) ทำให้อาหารเหลวเป็นละอองสัมผัสกับกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง (drying chamber) ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้งตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ผงบางส่วนที่รวมอยู่กับลมร้อนจะถูกแยกออกด้วยระบบแยกอาหารผงที่ได้มีความชื้น (moisture content) ต่ำ (น้อยกว่า 5%) นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้งมีลักษณะเป็นผง เหมาะสำหรับอาหารเหลว เช่น กาแฟ ไข่ ครีมเทียม นมผง น้ำผลไม้ผง เป็นต้น



ภาพที่ 5 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : http://www.intechopen.com/books/probiotics/encapsulation-technology-to-protect-probiotic-bacteria

ห้องทำแห้ง (drying chamber) เป็นบริเวณที่เกิดการทำแห้งอาหาร โดยอากาศร้อนแห้ง ซึ่งเป็นอากาศที่ถูกดูดผ่านระบบกรองและทำให้ร้อน จะปะทะกับอาหารเหลวบริเวณนี้ เกิดการระเหยของน้ำจากหยดอาหารเหลว การสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและอาหารเหลว อาจเป็นได้หลายทิศทาง ทำให้อากาศและอาหารเหลวไหลทางเดียวกัน (co-current flow) โดยอาหารเหลวและลมร้อนป้อนเข้าในทิศทางเดียวกัน อุณหภูมิลมร้อนจะลดลงระหว่างการทำแห้ง เทคนิคนี้เหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อนอากาศและอาหารเหลวไหลสวนทางกัน (counter-current flow) การไหลแบบผสม (mixed flow) ลมร้อนถูกป้อนเข้าทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้ง

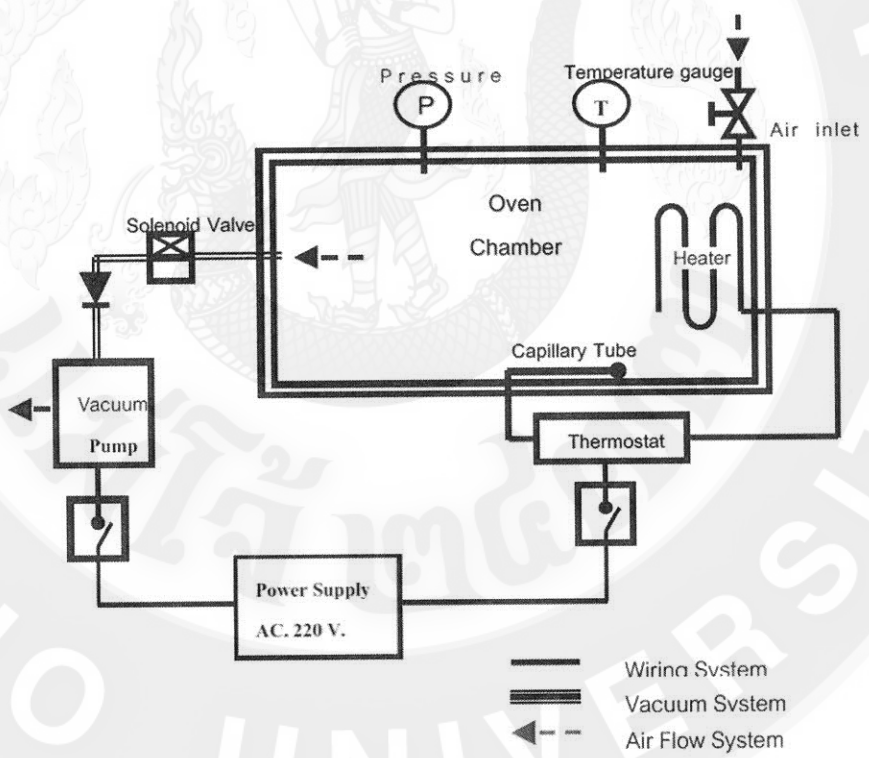
ตัวทำละออง (atomizer) มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้น เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลไปยังห้องอบแห้ง และกำหนดขนาดของอนุภาค ตลอดจนคุณภาพต่างๆ ของอาหารผง เครื่องพ่นละอองที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีหลายระบบ แต่ละระบบมีผลต่อลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การเลือกชนิดขึ้นอยู่กับสมบัติของอาหารเหลวเริ่มต้น เช่น ความหนืด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับและสมบัติของอาหารผงที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลาย (solubility) ความหนาแน่น (density) การเปียกน้ำ (wettability) เป็นต้น ตัวทำละอองที่นิยมใช้ ได้แก่ (1) หัวฉีดแรงดันสูง (pressure nozzles หรือ

nozzle atomizer) ตัวทำละอองประเภทนี้ จะใช้แรงดันสูงดันให้ อาหารเหลวไหลผ่านรูเปิดขนาดเล็ก (orifice) ขนาดของอนุภาคจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลและความหนืดของของเหลว และเมื่อเพิ่มแรงดัน ขนาดของอนุภาคจะเล็กลง (2) two-fluid atomizer (หรือ pneumatic atomizer) อาหารเหลวจะไหลกระทบกับก๊าซหรืออากาศที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ทำให้ของเหลวแตกเป็นละอองฝอยได้ขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก สามารถใช้ได้ดีกับอาหารเหลวที่มีความหนืด (viscosity) สูง (3) ตัวทำละอองแบบจานเหวี่ยง (centrifugal atomizer หรือ rotary atomizer) มีลักษณะเป็นจาน (disk, wheel) โดยอาหารเหลวจะไหลลงบริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลางของจาน ที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูงมาก (ประมาณ 2,000-20,000 รอบต่อนาที) ถูกเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์ (centrifigal force) ให้ของเหลวกระจายออกด้านข้างของจานเป็นละอองเล็กๆ ซึ่งขนาดของอนุภาคแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลและความหนืดของอาหารเหลว และแปรผกผันกับอัตราการหมุน และเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน ไม่เหมาะในการใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง ไม่เป็นเนื้อเดียว ซึ่งอาจมีปัญหาการอุดตันหัวฉีด

สำหรับอุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศ เช่น ไซโคลน (cyclone) ถุงกรอง (bag filter) ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของอาหารที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ (1) อัตราการไหลของอาหารเหลวขาเข้า (feed) (2) ความหนืดของอาหารเหลว (3) อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า

2.3 เทคนิค vacuum drying

ระบบการทำแห้งสุญญากาศนี้เกิดจากการใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกจากเตาอบที่ปิดสนิท การให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ โดยการแผ่รังสีความร้อนจากขดลวดความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ การควบคุมความร้อนในเตาอบใช้เทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุม และติดตั้งเกจ์อุณหภูมิในการอ่านค่าอุณหภูมิภายในเตาอบ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ควบคุมความดันคือ โซลีนอยด์ วาล์ว และเช็ควาล์ว ทำหน้าที่ป้องกันอากาศไหลย้อนกลับจากปั๊มสุญญากาศสู่เตาอบ กรองอากาศ ทำหน้าที่ในการ ป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกเข้าไปยังปั๊มสุญญากาศ เกจ์ความดันใช้ในการอ่านค่าความดันภายในเตาอบ และวาล์วนำอากาศเข้า ใช้ปรับความดันภายในเตาอบให้กลับสู่ความดันบรรยากาศหลังจากทำการอบแห้งเสร็จแล้ว



ภาพที่ 6 แผนผังการทำงานของระบบสุญญากาศและระบบให้ความร้อนของเตาอบ

ที่มา : กฤษณ์ และคณะ (2546)

3. การแปรรูปสารสกัด

Shrivastava และ de Dome (2001) ได้ทำการเตรียมสารสกัด salicoid จากเปลือกต้นวิลโลขาว (Salix alba) และ partinoid จากทั้งต้น feverfew (Tanacetum parthenium) ด้วยน้ำ-แอลกอฮอล์ แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปทำแห้งด้วย freeze dry (lyophilization) ผงสารสกัดที่ได้สามารถนำไปใช้ โดยผสมและบรรจุในเจลาทินแคปซูล หรือ ผสมในครีมเวชสำอาง

Palma และคณะ (2001) ได้เตรียมสารสกัดของใบ boldo (*Peumus boldus*) พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสม ทำให้ได้สาร boldine สูงที่สุด คือ เอทานอล-น้ำ 70:30 จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเทคนิคการระเหย (evaporation) ที่อุณหภูมิ 40 ^{O}C ซึ่งสามารถรักษาสภาพของสารสำคัญนี้ไว้ได้ดี

Aniya และคณะ (2002) พบว่าการทำแห้งสารสกัดด้วยน้ำของ coastal sea lavender (*Limonium wrightii*) ด้วยเทคนิค spray dry ที่ 90 ^{O}C 2 ชั่วโมง สามารถรักษาคุณภาพการต้านอนุมูลอิสระ และสารสำคัญ gallic acid ไว้ได้ดี

Schiffter และคณะ (2010) ได้เตรียมสารอินซูลินในรูปอนุภาคนาโน insulin-trehalose nanoparticle และรูปนาโนแขวนลอย insulin nanosuspension ด้วยเทคนิคการ spray-freeze-drying โดยใช้ primary drying ที่ –10, -20 -30 ^{O}C นาน 48 และใช้ secondary drying ที่ 20 ^{O}C นาน 24 ชั่วโมง พบว่า เทคนิคนี้สามารถรักษาคุณภาพ โครงสร้างแบบ dimer ของอินซูลินไว้ได้ดี และมีอนุภาคขนาดเล็กมากจนสามารถนำไปใช้ในรูปแบบ nasal delivery หรือ pulmonary delivery ได้

Liu และคณะ (2009) ได้เตรียมสารสกัดน้ำของรากโสม (*Panax notoginseng*) โดยใช้เทคนิค vacuum belt drying ใช้ อุณหภูมิที่ 90, 100 และ 110 ^{O}C feeding speed ที่ 15, 20 และ 25 ml/min และ belt speed ที่ 4, 7 และ 10 cm/min แล้ววิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าแบบจำลอง logarithmic model เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ผลการทำแห้งสุญญากาศของระบบนี้ และพบว่าการใช้อุณหภูมิสูง ทำให้ผงสารสกัดมีค่าการดูดความชื้นสูงขึ้นด้วย

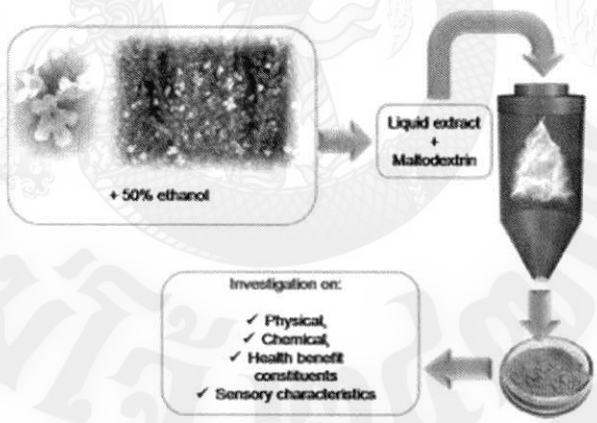
Gallo และคณะ (2011) ได้ทำแห้งสารสกัดเปลือก *Cáscara sagrada* (Rhamnus purshiana) ด้วยน้ำร้อน โดยใช้เทคนิคการพ่นฝอยแห้ง (spray dry) และใช้ colloidal silicon dioxide เป็นสารตัวพา พบว่า การปรับตั้งค่าที่ความเข้มข้นสูง และที่ atomization air flow rate ต่ำ จะได้สารสกัดผงที่มีคุณภาพ ความชื้นในผงต่ำ และการดูดความชื้นต่ำด้วย

Fernandes และคณะ (2012) ได้เตรียมสารสกัดเอทานอล 50% ของใบ Lippia sidoides ที่ 50 ^{O}C จากนั้นทำให้เข้มข้นด้วยการระเหย (evaporation) ที่ 40 ^{O}C แล้วนำไปทำแห้งด้วยเทคนิคการพ่นฝอยแห้ง แปรผัน inlet drying air temperatures ที่ 140, 150 และ 160 ^{O}C ใช้ maltodextrin และ

gum arabic เป็นสารตัวพา โดยมีการแปรผันสัดส่วนของสารทั้งสอง พบว่า ได้ผงสารสกัดขนาด 7-10 ไมโครเมตร และมีคุณภาพการยับยั้งเชื้อราได้ดี

Couto และคณะ (2012) ได้เตรียมสารสกัดโรสแมรีด้วยเอทานอล 80% และทำแห้งด้วยเทคนิค spray dry พบว่า การทำแห้งด้วย feed rate ที่ 6 ml/min air inlet temperature ที่ 140 ^{O}C และ spray nozzle air flow rate ที่ 50 L/min สามารถช่วยรักษาคุณภาพการต้านอนุมูลอิสระ รักษาสารกลุ่มแทนนินและฟลาโวนอยด์ได้ดี

Vidović และคณะ (2014) รายงานการทำแห้งสารสกัด (*Satureja montana* L.) พืชกลุ่มกระเพรา ในสกุล Lamiaceae โดยใช้มอลโตเด็กซ์ทริน (maltodextrin) เป็น carrier และ drying agent ได้ทดสอบที่ความเข้มข้น 10% 30% และ 50% พบว่า ที่มอลโตเด็กซ์ทริน 10% ได้ค่าสูงสุดของ total phenols (153.61 mg/g) total flavonoids (118.69 mg/g) essential oil (1.2%) carvacrol (902.52 mg/100 g) และ antioxidant activity (IC50 = 5.2394 µg/ml)



ภาพที่ 7 การทำแห้งสรสกัดสมุนไพรด้วยเทคนิคพ่นฝอย

ที่มา : Vidović และคณะ (2014)

4. กระเทียม

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Allium sativum* Linn.

วงศ์ : Alliaceae

ชื่อท้องถิ่น : กระเทียม (ภาคกลาง), หอมขาว หอมเทียม (ภาคเหนือ), หอมขาว (ภาคอีสาน), เทียม หอมเทียม (ภาคใต้)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กระเทียมเป็นพืชล้มลุก มีลำต้นใต้ดินชนิดหัว หัวมีลักษณะเป็นกลีบ หลายๆ กลีบเกาะกันแน่น สีขาว ใบเดี่ยวมีลักษณะยาวแบน สีเขียวเข้มคล้ายใบหญ้า ดอกมีสีขาวออกเป็นช่อเล็กๆ ทุกส่วนของลำต้นมีกลิ่นฉุนกระเทียมเป็นพืชที่มีกลิ่นเฉพาะตัวอย่างรุนแรง เนื่องจากในกระเทียมมีสารจำพวกกำมะถันหลายชนิดเป็นส่วนประกอบ กระเทียมมีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรปและทวีปเอเชียตอนกลาง แต่มีการนำมาปลูกทั่วๆ ไป ส่วนที่นำมาใช้คือ หัวและใบ (วันดี, 2537)

กระเทียมอยู่ในตระกูลเดียวกับหอมหัวใหญ่และหอมแดงต่างกันตรงที่หัวหอมจะเป็นบัลบ์ (bulb) ขนาดใหญ่อันเดียวส่วนกระเทียมจะประกอบด้วยบัลบ์มีขนาดเล็กหลายอันเรียกว่ากลีบ (cloves) ซึ่งห่อหุ้มด้วยเปลือกที่มีลักษณะบางๆหลายชั้นนอกจากส่วนของกลีบที่ใช้ในการบริโภคใบกระเทียมก็สามารถนำไปบริโภคได้ด้วยใบกระเทียมสามารถออกดอกให้ผลและเมล็ดรวมทั้งบัลบ์เลท (bulblets) ซึ่งสามารถนำไปขยายพันธุ์ได้แต่นิยมการขยายพันธุ์ด้วยกลีบเพราะให้ผลดีมากกว่า

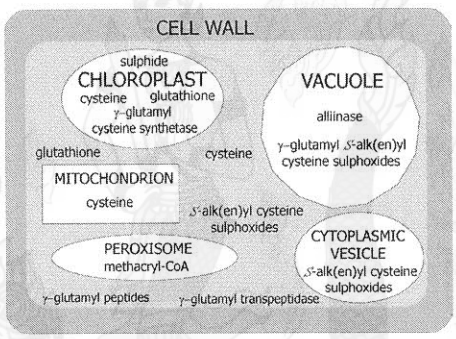
องค์ประกอบทางเคมี

กระเทียมประกอบด้วยสารสำคัญต่างๆ คือ เอนไซม์อัลลิเนส (allinase) อโจอีน(ajoene) ไวนิลไดทิอิน (vinyldithiins) สารอินทรีย์กำมะถันอัลลิอิน (alliin) สารประกอบอินทรีย์กำมะถันอื่น (sulfides) และสารที่ไม่ระเหย non-volatile γ-glutamylcysteine peptidesที่ทำให้กระเทียมมีกลิ่นหอมฉุนเผ็ดร้อนและเมื่อนำหัวกระเทียมสดมากลั่นด้วยไอน้ำจะได้น้ำมันกระเทียม (garlic oil) นอกจากนี้กระเทียมยังมีสารอาหารอื่นๆที่มีระโยชน์ ได้แก่ โปรตีน น้ำตาล คาร์โบไฮเดรต ไกลโคซายด์ กรดไขมัน กรดอะมิโน วิตามินต่างๆ เช่น วิตามินเอ แคโรทีน บีหนึ่ง บีสอง และซี เป็นต้น และแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม โปแตสเซียม เหล็ก ซิลิเนียม และเยอมาเนียม เป็นต้น (วิไลศรี และคณะ, 2554)

เซลล์ที่มีเอนไซม์ allinase ของกระเทียมจะอยู่ในกลุ่มเซลล์ล้อมรอบกลุ่มท่อลำเลียง ซึ่งเรียกว่า bundle sheath cell เมื่อมีการบดให้แตกออก เอนไซม์ allinase จะเปลี่ยน alliin ให้เป็นน้ำมันหอมระเหยอัลลิซิน (allicin) (Jones et al., 2004) allicin สามารถรวมตัวกับวิตามินบี 1 ได้เป็น

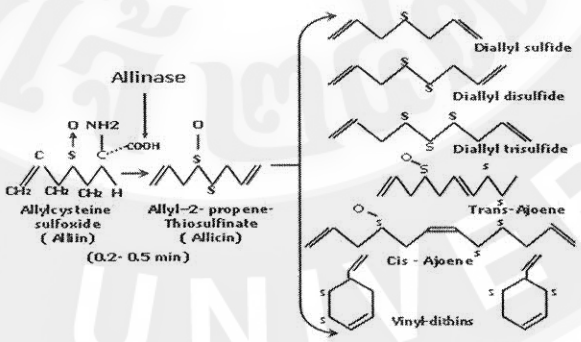
allithiamine เมื่อเข้าสู่ร่างกายคนและสัตว์แล้วจึงแตกตัวเป็นวิตามินบี 1 และ allicin แล้ว วิตามินบี 1 จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและใช้ประโยชน์ต่อไป

สารสำคัญอื่นๆในน้ำมันระเหย ที่ทำให้กระเทียมมีกลิ่นเฉพาะตัว คือ กลุ่มกำมะถัน ซึ่งมีอยู่มากถึง 0.9 % ประกอบด้วย diallyl sulfide, diallyltrisulfide, *S*-allyl cysteine sulphoxide, *S*-methyl cysteine sulphoxide, *trans*-S-1-propenyl cysteine sulphoxide และ *S*-propyl cysteine sulphoxide ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 8 ตำแหน่งที่เก็บสารสำคัญในโครงสร้างเซลล์ของกระเทียม

ที่มา : Jones et al. (2004)



ภาพที่ 9 สูตรโครงสร้างสารที่พบในกระเทียม

ที่มา: สิรินารถ (2554)

สรรพคุณ

สารในกระเทียมสามารถป้องกันโรคหัวใจลดการอุดตันของเส้นเลือด ลดการเกาะตัวของเกร็ดเลือด และโรคมะเร็งโดยสารประกอบในกระเทียมจะไปทำหน้าที่ในการยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็งที่ชื่อไนโตรซามีนในร่างกาย ซึ่งช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งได้ อีกทั้งยังช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน โดยจะช่วยเสริมสร้างภูมิต้านทานของร่างกายให้เพิ่มขึ้น เช่น macrophaqes T-lymphocyte activity และ antibody production นอกจากนี้แล้วยังพบว่ากระเทียมมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคเชื้อไวรัสและเชื้อราอีกด้วย (พเยาว์, 2526; วันดี, 2539)

สาร allicin สกัดจากกระเทียม สามารถยับยั้งเชื้อรา *Alternaria brassisicola, Botrytis cinerea, Plectosphaerella cucumerina, Magnaporthe grisea* (Curtis et al., 2009) สารสกัดกระเทียมที่สกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำ พบว่า กระเทียมมีสารอัลลิซิน และสารสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ *Phytophthora capsici* ได้ที่ความเข้มข้นอัลลิซิน75 % (Khanet al., 2011) สารสกัดกระเทียมสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ พบว่าในกระเทียมมีสารอัลลิซิน และสารสามารถยับยั้งเชื้อ *Candida albicans, Candida utilis, Saccharomyces cerevisiae* ได้ (Kim and Kyung, 2003) และสารสกัดกระเทียมสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ เอทานอล95% สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus agalactiae* (Rattanachaikunsopon et al., 2009)

สมพร (2542) รายงานว่า สารกลุ่มกำมะถันของกระเทียม มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ส่วน allicin มีคุณสมบัติรวมกับโปรตีนได้ คุณสมบัตินี้ทำให้กระเทียมเป็นยาปฏิชีวนะได้ เพราะ allicin จะไปรวมกับโปรตีนของเชื้อโรคซึ่งเท่ากับเป็นการทำลายหรือฆ่าเชื้อโรคนั้นๆ นอกจากนี้ allicin ยังมีฤทธิ์ในการกระตุ้นให้เกิดการหลั่งน้ำย่อยในกระเพาะที่สำคัญหลายชนิด และน้ำย่อยเหล่านี้บางชนิดสามารถทำลายเชื้อโรคได้ นอกจากนี้เอนไซม์ allinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยน alliin ให้เป็น alicin ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

Pazewski (1978) อ้างโดย จำลอง (2534) กล่าวว่า สารสกัดจากแอลกอฮอล์ หรือผงกระเทียมแห้งไม่ได้ผลดีเท่ากระเทียมสด จากคุณสมบัติทางเคมีถ้าใช้กระเทียมเพื่อรักษาโรคติดเชื้อน่าจะคำนึงถึงเรื่องความคงตัวของอัลลิซินและเลือกวิธีการเตรียมที่เหมาะสม และ Mabrouk (1981) อ้างโดย จำลอง (2534) กล่าวว่า กระเทียมสามารถฆ่าเชื้อราได้ แต่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้เท่านั้น นอกจากนี้กระเทียมยังสามารถยับยั้งการสร้าง mycelium และป้องการผลิต aflatoxin

Ankri and Mirelman (1999) อัลลิซินสารที่พบในกระเทียม มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่น ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียทั้งแกรมลบและแกรมบวก รวมทั้งสายพันธุ์ที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะ

ต้านเชื้อราโดยเฉพาะ *Candida albicans* รวมถึงปรสิตโปรโตซัวในลำไส้ของมนุษย์ เช่น เชื้อบิดอะมีบา *Giardia lamblia* และต้านไวรัส

Ghahfarokhiet et al. (2003) กระเทียมสกัดด้วยน้ำสามารถยับยั้งเชื้อรา *Trichophyton mentagrophytes* ซึ่งความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ 0.62 % v/v ยับยั้งได้ 35 % และความเข้มข้น 10 % v/v ยับยั้งได้ 100 %

Benkeblia (2004) ศึกษากิจกรรมการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดน้ำมันหอมระเหย (essential oil) จากหัวหอมและกระเทียม โดยทดสอบการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger, Penicillium cyclopium* และ *Fusarium oxysporum*ที่สารสกัดมีความเข้มข้น 50, 100, 200, 300 และ 500 ml/l พบว่าสารสกัดน้ำมันหอมระเหยจากหอมเขียวและหอมเหลือง ที่ความเข้มข้น 50, 100 ml/l สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยรา *A. niger* ได้ ส่วนน้ำมันหอมระเหยจากหอมแดงและกระเทียม ที่ทุกความเข้มข้นสามารถต่อต้านเชื้อรา *A. niger* ได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้ว พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากหอมเขียวและหอมเหลืองที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ml/l กับกลุ่มควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนน้ำมันหอมระเหยจากหอมเขียวและหอมเหลืองที่ความเข้มข้น 200, 300 และ 500 ml/l และน้ำมันหอมระเหยจากหอมแดงและกระเทียม ทุกความเข้มข้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Hannah et al. (2004) ศึกษาการออกฤทธิ์ของ allicin ที่สกัดได้จากกระเทียมในการต่อต้านแบคทีเรีย เชื้อรา และ oomycetes ซึ่งก่อโรคในพืช พบว่า สามารถลดการเกิดโรคในพืชได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการเกิดโรคในพืชนั้นมีสาเหตุมาจากเชื้อ *Magnapor thegrisea*ก่อโรคในข้าว *Hyaloperonospora parasitica* ก่อโรคใน *Arabidopsis thaliana* และ*Phytophthora infestan*ก่อโรคในหัวมันฝรั่งและสารอัลลิซิน มีผลทำให้ประสิทธิภาพการงอกสปอร์ของเชื้อ *Phyttophthora infestans* ลดลงด้วย

Hughes and Lawson (2006)ไดอัลลิลไทโอซัลไฟเนต (*diallylthiosulfinate*)หรืออัลลิซิน พบในกระเทียมสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในหลอดทดลองได้ และสารประกอบในกระเทียมเป็นสารมีขั้วรวมทั้งอัลลิซิน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมสารสกัดกระเทียม

- ทำการสกัดสารจากกระเทียม ด้วยน้ำและเอทานอล โดยเขย่า นำสารสกัดกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 เก็บสารสกัดที่ -20 ^{O}C เพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

2. การทำแห้งสารสกัดกระเทียม

ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบต่างๆ โดยผสมสารตัวพา (carrier) เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน อาราบิกกัม เป็นต้น

- เทคนิคการทำแห้งโดยแช่เยือกแข็ง (freeze drying)
- เทคนิคพ่นฝอยแห้ง (spray drying) ที่ 140 – 160 ^{O}C
- เทคนิคทำแห้งสุญญากาศ (vacuum drying) ที่อุณหภูมิ 40 – 60 ^{O}C

3. การตรวจสอบโครงสร้างทางกายภาพ

- โดยใช้เทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และ X-ray diffraction (XRD)

4. การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี

- ตรวจวิเคราะห์สารสำคัญของกระเทียม ได้แก่ ซิลิเนียม (silinium) อัลลิซิน (allicin) ด้วย HPLC

5. การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactives) ในหลอดทดลอง (in vitro test)

โดยทำการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดแห้งจากวิธีต่างๆ เปรียบเทียบกับสารสกัดสด

- ทำการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Aeromonas hydrophila* เป็นต้น ด้วยวิธี agar disc diffusion
- ทำการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราน้ำก่อโรค เช่น *Achlya bisexualis* เป็นต้น ด้วยวิธี agar plate dilution
- ทำการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH test

6. การศึกษาอายุการเก็บของสารสกัดแห้ง

- ระยะเวลาการเก็บ ที่ 1, 3, 6, 12 เดือน
- อุณหภูมิการเก็บ ที่ -20, 4, 25 ^{O}C

7. การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactivity) ในตัวสัตว์น้ำ (in vivo test)

7.1 ทดสอบประสิทธิภาพต่อระบบภูมิคุ้มกันในปลานิล

การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเลือด โดยให้ปลากินอาหารผสมสารสกัดแห้งของกระเทียม ที่ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างเลือดมา ทดสอบสัดส่วนเลือด โดยใช้เทคนิค hematocrit และทดสอบกิจกรรมของ lysozme ในเลือด

การทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas hydrophila* ในปลานิล โดยฉีดเชื้อแบคทีเรีย จำนวน 10^7 cfu/ 1 ตัว ที่กล้ามเนื้อ (intramuscular injection) แล้วให้ปลากินอาหารผสมสารสกัดแห้งของกระเทียม เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างเลือดมาทำการเพาะเชื้อ หรือทำ PCR ตรวจสอบปริมาณเชื้อที่มีอยู่

7.2 ทดสอบประสิทธิภาพการกระตุ้นเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิล

โดยเลี้ยงปลาด้วยอาหารผสมสารสกัดแห้งของกระเทียม เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างลำไส้ มาตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซิน ตามวิธีของ Rungruangsak-Torrissen et al. (2006) โดยทำให้สัตว์น้ำสงบด้วยการแช่ในน้ำเย็นก่อนการผ่าท้องและตัดเก็บตัวอย่างลำไส้

8. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการวิจัยด้วย one way ANOVA ที่ความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ได้เตรียมสารสกัดกระเทียมด้วยน้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย แล้วนำไปทำแห้งด้วย 3 เทคนิค เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมผงแห้งของสารสกัดกระทียม ที่มีต้นทุนต่ำ และรักษาคุณสมบัติของฤทธิ์ชีวภาพได้ดี

1. เปรียบเทียบการทำแห้งด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งและการพ่นฝอย

นำสารสกัดกระเทียมด้วยน้ำ โดยใช้กระเทียม 1 กิโลกรัม ต่อ ตัวทำละลาย 3,000 ml ทำการกรองด้วย 0.45 μM filter ก่อนนำไปทำแห้งโดยไม่ผสมสารตัวพา (carrier) หรือสารก่อโฟม (filler) ใช้เทคนิคการทำแห้งด้วย 2 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และเทคนิคพ่นฝอย (spray drying) แล้วนำผลิตภัณฑ์ผงสารสกัดกระเทียมแต่ละชนิด มาทดสอบฤทธิ์ชีวภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในสัตว์น้ำ

กระบวนการแช่เยือกแข็ง (freeze drying) โดยใช้เครื่อง LABCONCO รุ่น FreeZone 6 L ส่วนกระบวน การพ่นฝอย (spray drying) โดยใช้เครื่อง BUCHI spray dryer รุ่น Mini Spray dryer B-290 ใช้อุณหภูมิของการพ่นฝอย inlet temperature ที่ 150 ^{o}C และ outlet ที่ 80 ^{o}C เก็บข้อมูลน้ำหนัก ปริมาตร เวลา และการยับยั้งเชื้อ *A. hydrophila* (AH) (ตารางที่ 4) จะเห็นได้ว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์สารสกัดกระเทียมมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันมาก

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบ น้ำหนัก ปริมาตร และเวลา ในการทำแห้ง 2 เทคนิค

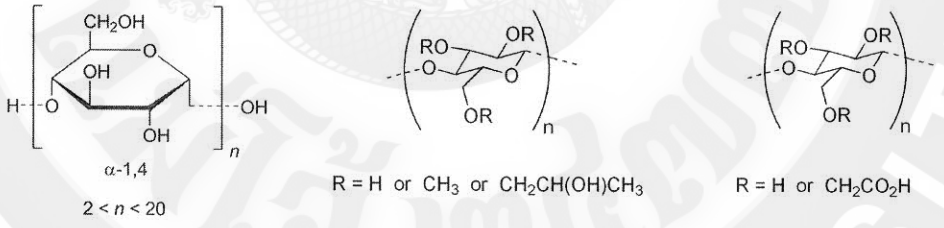
ค่าตรวจวัด	ชุดการทดลอง	
	Freeze Drying	**Spray drying**
น้ำหนักกระเทียมสด (g)	1,000	1,000
น้ำหนักแกะเปลือก (g)	900	885
น้ำหนักหลังสับ (g)	850	870
สารสกัดกรองหยาบ (ml)	2,500	2,300
สารสกัดกรองละเอียด (ml)	2,480	2,290
น้ำหนักผง (g)	220	185
ระยะเวลาในการทำแห้ง	3 วัน	3 ชั่วโมง
ขนาด AH clear zone (mm)	11.53	6.81

ทำการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค *Aeromonas hydrophila* ด้วยวิธี agar disc diffusion โดยนำผงสารสกัดกระเทียมมาละลายด้วยน้ำกลั่นที่ปริมาตรเดิม แล้วนำสารละลาย 25 µl ไปทดสอบการยับยั้งเชื้อ เมื่อคำนวณให้ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อของผงกระเทียมจากเทคนิค freeze drying เป็น 100% เนื่องจากเป็นเทคนิคทำแห้งที่รักษาสภาพของสารต่างๆได้ดีที่สุด จะพบว่า ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อของผงกระเทียมจากเทคนิค spray drying 150 ^{O}C ลดลงเหลือ 59.06 % ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าสารสำคัญในกระเทียม คือ allicin ซึ่งมีความไวต่อความร้อน บางส่วนน่าจะถูกทำลายในขั้นตอนการพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 150 ^{O}C ซึ่งจะต้องมีการปรับลด inlet temperature ในการทดลองครั้งต่อไป

2. การทำแห้งด้วยกระบวนการสุญญากาศ

2.1 ขั้นตอนการทำโฟมสารสกัดกระเทียม

นำสารสกัดกระทียมด้วยน้ำและเอทานอล 200 ml มาทดสอบผสมกับสารก่อโฟม 3 ชนิด ได้แก่ (1) maltodextrin (2) hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) และ (3) sodium carboxymethyl cellulose (CMC) โดยใช้เครื่องตีไข่ ค่อยๆเติมสารก่อโฟมครั้งละ 10 ml ทุก 5 นาที จนกระทั่งขึ้นรูปโฟมชัดเจน แล้วทิ้งไว้ จับเวลาความคงตัวของโฟม สังเกตลักษณะรูปร่างและความละเอียดของโฟม



Maltodextrin HPMC CMC

ภาพที่ 10 โครงสร้างทางเคมีของสารก่อโฟม

พบว่า สารสกัดกระเทียมด้วยเอทานอล สารผสมมีลักษณะไม่ละลาย เป็นเกล็ด และเห็นเป็นสีขาวขุ่น ไม่สามารถทำให้ขึ้นโฟมได้ จึงยุติการทดลองส่วนนี้

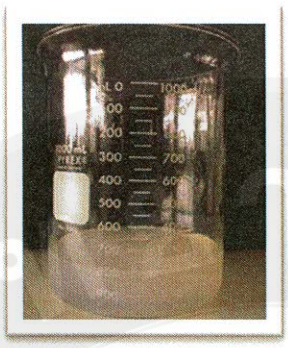
ส่วนสารสกัดกระเทียมด้วยน้ำ มีการก่อโฟมดี โดยสูตรสารก่อโฟม 4 สูตร ใช้สารก่อโฟมในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ให้ความคงตัวแตกต่างกัน (ตารางที่ 5) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของโฟมที่ได้จากสูตร 2 และ 4 (ภาพที่ 11) พบว่า สูตร 2 ให้ความละเอียด และมีการเกาะตัวที่ดีกว่า

ตารางที่ 5 ผลการก่อโฟมด้วยสารก่อโฟมสูตรต่างๆ

สูตร	ส่วนประกอบ	ปริมาตร (ml)	ระดับความเร็วของเครื่องตีไข่	ความคงตัว	การยุบตัว โฟม : น้ำ (ml)
1	maltodextrin 25% HPMC 1%	170	4	3-5 นาที	800 : 100
2	maltodextrin 25% HPMC 1%	170	7	มากกว่า 10 ชั่วโมง	700 : 100
3	maltodextrin 25% CMC 1%	200	7	-	0 : 400
4	moltodextrin 25% HPMC 1% CMC 1%	170	7	มากกว่า 10 ชั่วโมง	400 : 100

maltodextrin 25%, HPMC 1%　　moltodextrin 25%, HPMC 1%, CMC 1%

ภาพที่ 11 ลักษณะของโฟมที่ได้



maltodextrin 25%, HPMC 1%
+ สารสกัดเอทานอล

maltodextrin 25%, HPMC 1%
+ สารสกัดน้ำ

ภาพที่ 12 ลักษณะของสารละลายที่ไม่ขึ้นโฟม

2.2 ขั้นตอนการอบแห้ง

นำสารสกัดกระเทียมผสมสารก่อโฟม และทำการขึ้นโฟม (maltodextrin 25%, HPMC 1%) หยอดใส่ถาดอบ นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 $^{\circ}$C อบเป็นเวลา 150 นาที สังเกตลักษณะของโฟมทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งโฟมแห้ง บันทึกผลที่สังเกตได้ ดังตารางที่ 6 ลักษณะของโฟมที่อบแล้วมีความคงตัวดี สามารถนำไปบดได้ง่าย

ตารางที่ 6 ลักษณะของโฟมระหว่างการอบแห้ง

ระยะเวลา	ลักษณะโฟม
30 นาที	เนื้อโฟมยังคงตัว ไม่เปลี่ยนสถานะ
60 นาที	ผิวหน้าโฟม เริ่มแห้ง แต่ชั้นในของโฟม มีลักษณะเป็นโฟมเปียก
90 นาที	ผิวหน้าโฟมแห้งสนิท แต่ชั้นในโฟม เปียก และมีความชื้นอยู่
120 นาที	ผิวหน้าโฟมแห้งสนิท ชั้นในโฟม เริ่มแห้ง มีความชื้นอยู่เล็กน้อย
150 นาที	โฟม แห้งสนิท ทั้งส่วนผิวหน้า และชั้นในโฟม

ภาพที่ 13 ลักษณะความคงตัวของโฟมที่อบ

สรุปผลการวิจัย

สามารถสรุปผลได้ว่า สามารถใช้กระบวนการทำแห้งด้วยเทคนิคพ่นฝอยและอบแห้ง เพื่อผลิตผงสารสกัดกระเทียมที่เหมาะสมได้ ดังนี้

- การทำแห้งด้วยกระบวนการพ่นฝอยที่ inlet temperature 150 ^{O}C ทำให้ฤทธิ์ชีวภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดกระเทียมลดลงเหลือ 59.06 % ของ freeze dry
- การทำแห้งด้วยกระบวนระบบสุญญากาศ โดยใช้สารก่อโฟม ประกอบด้วย maltodextrin 25% และ HPMC 1% ตีโฟมที่รับ 7 ทำการอบที่ 65 ^{O}C 150 นาที จะได้ลักษณะของสารสกัดผงแห้ง

ในการดำเนินงานต่อไป จะทำการเปรียบเทียบการทำแห้งสารสกัดกระเทียม ด้วยการพ่นฝอย และการสุญญากาศ กับเทคนิคแช่เยือกแข็ง โดยจะศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยเทคนิค SEM ศึกษาคุฯมบัติทางเคมี ด้วยเทคนิค HPLC และศึกษาฤทธิ์ชีวภาพในหลอดทดลอง (in vitro test) และในตัวสัตว์น้ำ (in vivo test) จะทำการเปรียบเทียบคุณภาพและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ผงสารสกัดกระเทียมที่ได้ต่อไป

ในช่วงงานวิจัยปีที่ 1 นี้ มีปัญหาที่ได้เกิดขึ้น คือ เครื่องเขย่าและเครื่อง freeze dryer ที่มีในหน่วยงานทยอยเสีย เนื่องจากมีอายุการใช้งานนานเกิน 10 ปี ทำให้อุปกรณ์หลายชิ้นส่วนหมดอายุการใช้ และได้รับการซ่อมแซมหลายครั้ง จนใช้งานได้สมบูรณ์ นอกจากนี้ การเข้าใช้เครื่องมือต่างหน่วยงาน ซึ่งมีผู้ใช้งานอย่างต่อเนื่อง และมีช่วงระยะเวลาจำกัดในการใช้เครื่องมือ ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้ต่อเนื่อง ผลกระทบเหล่านี้ทำให้การดำเนินงานล่าช้ากว่ากำหนดมาก ข้อมูลในรายงานปีที่ 1 ของโครงการวิจัยจึงยังไม่ตรงตามที่ได้วางแผนไว้ อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานวิจัยต่อเนื่อง การวิจัยส่วนใหญ่สามารถดำเนินงานได้ที่คณะหน่วยงานหลัก ผู้วิจัยคาดว่าสามารถทำได้ครบตามแผนทั้งหมดในปีที่ 2 ได้อย่างแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

กฤษณ์ ศรีสุริยะธาดา, จาฎุวัจน์ พ้นพาล และดามร บัณฑุรัตน์. 2546. เตาอบสุญญากาศสำหรับอบแห้งกระชายดำ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ก.ค.-ธ.ค., 34(4-6 (Suppl.)): 116-118.

คมชัดลึก, หนังสือพิมพ์. 2554. ประมงคุ้มเข้ม สารต้องห้าม ฟาร์มเลี้ยงกุ้ง. วันเสาร์ที่ 27 สิงหาคม 2554.

จิราพร โรจน์ทินกร. 2542. การทดสอบประสิทธิภาพของสมุนไพรบางชนิดต่อเชื้อแอโรโมแนสไฮโดรฟิลา. สำนักวิจัยและการศึกษาต่อเนื่อง มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

จิราพร โรจน์ทินกร และอัญชลี ธรรมรงค์คงสถิต. 2549. การแช่รักษาโรคแอโรโมแนสในสัตว์น้ำโดยใช้สารสกัดเปลือกทับทิมและใบหูกวาง. การประชุมวิชาการประมง ประจำปี 2549. กรมประมงร่วมกับ ศูนย์พัฒนาประมงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. หน้า 449-460.

จิราพร โรจน์ทินกร, กุลธิดา กาญจนเตมีย์, จิรานันท์ ชานนท์, จิราพร หนูคำสวน, นฤมล รักงาม, นฤมล ลำเจียก และ สิริวรรณ เอกธรรม 2551. ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรไทยในการรักษาเชื้อรากลุ่ม Saprolegniasis และ Lagenidium ในสัตว์น้ำ. ทุน IRPUS ประจำปี 2551 สำนักงานสนับสนุนทุนวิจัยแห่งชาติ (สกว.) รหัสโครงการ I351D03023.

จิราพร โรจน์ทินกร, จงกล พรมยะ และศรีกาญจนา คล้ายเรือง. 2552(1). สมุนไพรไทยทดแทนยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. ทุนวิจัย สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) ปี 2547-2549.

จิราพร โรจน์ทินกร, ธิดารัตน์ อินทร์เพ็ญ, ธีรเกียรติ กาศก้อง, นฤมล วงศ์กิจ, ประพิมพร ขันแก้ว และอาทิติยา จาบประโคน. 2552(2). การใช้สารสกัดสมุนไพรไทยทดแทนยาปฏิชีวนะและสารเคมีเพื่อกำจัดเชื้อราในโรงเพาะฟักปลาน้ำจืด. ทุน IRPUS ประจำปี 2552 สำนักงานสนับสนุนทุนวิจัยแห่งชาติ (สกว.) รหัสโครงการ I152D03010.

จิราพร โรจน์ทินกร, ธีระวัฒน์ รัตนพจน์, สายทอง ไชยวงค์, อภิเชษฐ โนภิวงค์ และ อำพล คุ้มตระกูล. 2552(3). ฤทธิ์ของสาหร่ายน้ำจืดในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. ทุน IRPUS ประจำปี 2552 สำนักงานสนับสนุนทุนวิจัยแห่งชาติ (สกว.) รหัสโครงการ I152D03009.

จิราพร โรจน์ทินกร, ฐิติพร หลาวประเสริฐ และ อาพร ปะนาเส. 2552(4). การพัฒนาใช้สารสกัดสมุนไพรไทยทดแทนสารเคมีโดยการแช่เพื่อกำจัดเชื้อรา Saprolegniasis ในปลาสวยงาม. โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สกว. รหัสโครงการ MRG-WI525S118.

จิราพร โรจน์ทินกร ประจวบ ฉายบุ และ ศุภลักษณ์ ฤทธิแผลง. 2552(5). การใช้สารธรรมชาติเพื่อเร่งการเจริญเติบโตในปลาบู่. โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สกว. รหัสโครงการ MRG-WI525S119.

จิราพร โรจน์ทินกร และฐิติพร หลาวประเสริฐ. ๒๕๕๕. สารสกัดสมุนไพรไทยยับยั้งเชื้อราน้ำสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. ทุนวิจัย สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) ปี 2555-2556.

พเยาว์ เหมือนวงศ์ญาติ. 2526. คู่มือการใช้สมุนไพร. เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: เมดิคัลมีเดีย. 258 น.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. มปป.(1) เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3133/freeze-drying-การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. มปป.(2) เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0971/spray-drier-เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2547. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง. วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย 11: 20-22.

วันดี กฤษณพันธ์. 2537. สมุนไพรน่ารู้. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 257 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติการเกษตรของไทย ปี 2552. เข้าถึงได้จาก http://www.oae.go.th/ download/download_journal/yearbook2552.pdf

อมรชัย สมเจตน์เลิศเจริญ. 2545. ปัญหายาตกค้างในกุ้งกุลาดำ. วารสารข่าวโรคสัตว์น้ำ. ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2545.

อัญชลี ธรรมรงค์คงสถิต. 2550. ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรไทยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในกุ้งก้ามกราม. วิทยานิพนธ์ วิทยาสาสตร์มหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อัญชลี ธรรมรงค์คงสถิต และจิราพร โรจน์ทินกร. 2550. ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรไทยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในกุ้งก้ามกราม. วารสารเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยโจ้.

Aniya Y., Miyagi C., Nakandakari A., Kamiya S., Imaizumi N., and T. Ichiba. 2002. Free radical scavenging action of the medicinal herb Limonium wrightii from the Okinawa islands. Phytomedicine 9: 239–244.

Ankri, S. and Mirelman, D. 1999. Antimicrobial properties of allicin from garlic.Journal Microbes and Infection 1 (2): 125–129 .

Benkeblia, N. 2004. Antimicrobial Activityof Essential oil Extracts of Various Onions (*Allium cepa*) and Garlic (*Allium sativum*). Journal Lebensm.-Wiss. u.-Technol 3: 263–268.

Couto R.O., Conceição E.C., Chaul L.T., Oliveira E.M.S., Martins F.S., Bara M.T.F., Rezende K.R., Alves S.F. and Paula J.R. 2012. Spray-dried rosemary extracts: Physicochemical and antioxidant properties. Food Chemistry 131 : 99–105.

Curtis, H., Noll, U., Stormann J., Alan, J. and Slusarenko, A. 2004. Broad- Activity of the Volatile Phytoanticipin Allicin in Extracts of Garlic (*Allium sativum* L.) Against Plant Pathogenic Bacteria, Fungi and Oomycetes. Journal of Physiological and Molecular Plant Pathology 65: 79–89.

Fernandes L.P., Candido R.C. and Oliveira W.P. 2012. Spray drying microencapsulation of *Lippia sidoides* extracts in carbohydrate blends. food and bioproducts processing 9 0 : 425–432.

Gallo L., Llabot J.M., Allemandi D., Bucalá V. and Piña J. 2011. Influence of spray-drying operating conditions on *Rhamnus purshiana* (*Cáscara sagrada*) extract powder physical properties. Powder Technology 208 : 205–214.

Ghahfarokhi, M. S., Razafsha, M., Allameh. A. And Abyaneh, M. R. 2003. Inhibitory Effects of Aqueous Onion and Garlic Extracts on rowth and Keratinase Activity in *Trichophyton mentagrophytes*. Journal of Iranian Biomedical 7(3): 113-118.

Hughes, B. G and Lawson L. D. 2006. Antimicrobial Effects of *Allium sativum* L. (garlic), *Allium ampeloprasum* L. (elephant garlic), and Allium cepa L. (onion), Garlic Compounds and Commercial Garlic Supplement Products. Phytotherapy Research 5 (4): 154–158.

Jones M.G., Hughes J., Tregova A., Milne J., Tomsett A.B. and Collin H.A. 2004. Biosynthesis of the flavour precursors of onion and garlic. Journal of Experimental Botany 55(404): 1903–1918.

Kolkovski S. 2013. Herbal Medicine in Aquaculture. International AquaFeed November / December 2013.

Krishnaiah D., Sarbatly R. and Nithyanandam R. 2011. A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. food and bioproducts processing 8 9 : 217–233.

Liu X., Qiu Z., Wang L., Cheng Y., Qu H. and Chen Y. 2009. Mathematical modeling for thin layer vacuum belt drying of *Panax notoginseng* extract. Energy Conversion and Management 50 : 928–932.

Lovkova M. Ya., Buzuk G. N., Sokolova S. M., and Kliment'eva N. I. 2001. Chemical Features of Medicinal Plants (Review). Applied Biochemistry and Microbiology 37(3) : 229–237.

Mahomoodally F., Mesaik A., Choudhary M.I., Subratty A.H., Gurib-Fakim A. 2012. In vitro modulation of oxidative burst via release of reactive oxygen species from immune cells by extracts of selected tropical medicinal herbs and food plants. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine : 440-447.

Nicaonline. 2549. มาตรการควบคุมการตกค้างของ Malachite green ในสินค้าสัตว์น้ำ. เข้าถึงได้จาก http://www.nicaonline.com/webboard/index.php?topic=3628.0;wap2

Palm S., Lujan C., Llabot J.M., Barboza G., Manzo R.H. and Allemandi D.A. 2001. Design of *Peumus boldus* tablets by direct compression using a novel dry plant extract. International Journal of Pharmaceutics 233 : 191–198.

Patil R., Patil R., Ahirwar B. and Ahirwar D. 2011. Current status of Indian medicinal plants with antidiabetic potential: a review. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine : 291-S298

Quiroga E.N., Sampietro A.R. and Vattuone M.A. 2001. Screening antifungal activities of selected medicinal plants. Journal of Ethnopharmacology 74 : 89–96.

Rattanachaikumsopno, P. and Phumkachorn, P. 2009. Prophylatic Effect of *Andrographis paniculata* Extracts Against *Streptococus agalactaae* Infection in Nile tiapia (*Oreochromis niloticus*). Journal of Bioscience and Bioengineering 107: 579 - 582.

Rittiplang S., Tongsiri S., Chaibu P. and Rojtinnakorn J. 2011. Garlic extract inducing consumption and growth in sand goby (*Oxyeleotris marmoratus*). 9th Asian Fisheries & Aquaculture Forum (9AFAF), Shanghai Ocean University, Shanghai, China.

Rungruangsak-Torrissen K., Moss R., Andresen L.H., Berg A. and Waag R. 2006. Different expressions of trypsin and chymotrypsin in relation to growth in Atlantic salmon (Salmo salar L.). Fish Physiology and Biochemistry. 32:7–23.

Schiffter H., Condliffe J. and Vonhoff S. 2010. Spray-freeze-drying of nanosuspensions: the manufacture of insulin particles for needle-free ballistic powder delivery. Journal of the Royal Society Interface 7, S483–S500.

Shrivastava R. and de Dome P. 2001. Plant extract compositions, method of preparation, and pharmaceutical compositions containing them. Patent No. US 6,254,899 B1, Jul. 3, 2001.

Silva N.C.C. and Fernandes Júnior A. 2010. Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity. The Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases 16(3) : 402-413.

Shrimp Center. 2549. "มาลาไคท์ กรีน" หายนะอุตสาหกรรมกุ้ง. เข้าถึงได้จาก http://www.shrimpcenter.com/shrimp012.html

Stafford G.I., J¨ager A.K. and van Staden J. 2005. Effect of storage on the chemical composition and biological activity of several popular South African medicinal plants. Journal of Ethnopharmacology 97 : 107–115.

Vidović S.S., , Vladić J.Z., Vaštag Ž.G., Zeković Z.P., Popović L.M. 2014. Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in Satureja montana dry powder extract obtained by spray drying technique. Powder Technology 258: 209–215.