คำนำ

ในเวลาที่ผ่านมา แม้ว่าการพัฒนาด้านสาธารณสุขของประเทศไทยเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น มีการพัฒนาด้านสุขภาพเพิ่มขึ้น อายุคาดเฉลี่ยของคนไทยยืนยาวขึ้น การกระจายบริการด้านสุขภาพเป็นไปอย่างกว้างขว้าง แต่ในขณะเดียวกันก็เกิดวิกฤตขึ้นในระบบสุขภาพ เนื่องจากการดูแลสุขภาพส่วนใหญ่เป็นไปในลักษณะของการรักษามากกว่าการป้องกัน ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพของคนไทยพุ่งสูงขึ้น ระบบบริการสุขภาพของประเทศไทยจึงควรมุ้งเน้นการส่งเสริมสุขภาพและการป้องกันโรคให้มากกว่าการรักษาพยาบาล เป็นการให้ความสำคัญต่อกิจกรรมเชิงรุกมากกว่ากิจกรรมแบบตั้งรับหรือเน้นการเสริมสร้างสุขภาพแทนการซ่อมสุขภาพนั่นเอง โดยควรเริ่มต้นจากหน่วยเล็กๆ คือ ครัวเรือน หมู่บ้านหรือชุมชน และตำบล เป็นต้น และเริ่มต้นจากสิ่งที่มีอยู่ใกล้ตัว ดังเช่นสมุนไพรพื้นบ้าน หรือเครื่องเทศซึ่งกำลังไดรับความสนใจในปัจจุบัน โดยนิยมนำไปสกัดน้ำมันหอมระเหยแล้วแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างจากพืชสมุนไพรท้องถิ่นเพื่อสุขภาพ

การทำน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรท้องถิ่นเป็นการประยุกต์การนำน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรที่ใช้เป็นยารักษาโรคของชุมชนในอดีต มาพัฒนาและปรับปรุงให้ใช้ง่าย มีคุณภาพที่ดีกว่าเดิมและใช้ได้สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหาและเสริมสร้างศักยภาพการผลิตน้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพใช้อย่างมีประสิทธิภาพในชุมชน โดยคนในชุมชนสามารถทำการผลิตใช้เองได้ และสามารถทำให้คนในชุมชนมีสุขภาพที่ดี และยังประหยัดด้านรายจ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพืชในท้องถิ่นที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปสกัดน้ำมันหอมระเหย
2. เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยและการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อสุขภาพ
3. เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพจากพืชท้องถิ่นในจังหวัดแพร่

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพจากพืชท้องถิ่นในจังหวัดแพร่ จะจำกัดการศึกษาให้อยู่ในขอบเขตดังนี้

1. พืชที่จะทำการศึกษาต้องเป็นพืชท้องถิ่นอยู่ในจังหวัดแพร่ เช่น ข่า ขิง และตะไคร้ เป็นต้น

2. พื้นที่ที่ทำการศึกษา คือ จังหวัดแพร่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพ

2. ช่วยส่งเสริมสุขภาพของประชาชนในท้องถิ่นโดยการสร้างเสริมสุขภาพแทนการรักษาโรค

คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย

1. น้ำมันหอมระเหย (essential oil) หมายถึง สารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น มักมีกลิ่นหอมระเหยง่าย โดยพืชเหล่านี้จะมีเซลล์พิเศษ ต่อมหรือท่อ เพื่อสร้างและกักเก็บน้ำมันหอมระเหย

2. พืชท้องถิ่น (native species) หมายถึง พืชดั้งเดิมของท้องถิ่นมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยา และมีความเหมาะสมกับสภาพอากาศและดินมากกว่าพืชที่นำเข้ามาจากที่อื่นๆ

3. สุขภาพ (health) หมายถึง ภาวะแห่งความสมบูรณ์ทางร่างกาย จิตใจ และการดำรงชีวิตอยู่ในสังคมด้วยดี ไม่ใช่เพียงแต่ความปราศจากโรค หรือทุพพลภาพเท่านั้น

การตรวจเอกสาร

เครื่องเทศเป็นกลุ่มพืชที่มีความหลากหลายมาก เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสาระสำคัญหลายชนิดแตกต่างกัน แต่โดยรวมจะมีคุณลักษณะพิเศษ 3 ประการ คือ มีกลิ่นหอม มีรสชาติเป็นที่ชื่นชอบของมนุษย์ และมีฤทธิ์ทางยา นอกจากนั้นบางชนิดยังมีสารสีธรรมชาติด้วย เช่น สารสีเหลืองจากขมิ้น เป็นต้น ดังนั้นในบางครั้งพืชชนิดเดียวกันอาจถูกจัดอยู่ในกลุ่ม พืชน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ในกรณีที่เราใช้ประโยชน์เฉพาะสารให้กลิ่นหอม หรือจัดเป็น พืชสมุนไพร เมื่อเราใช้ประโยชน์จากสารออกฤทธิ์ทางยาในพืชนั้น หรือเป็น พืชเครื่องเทศ เมื่อนำไปใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติ อย่างไรก็ตาม พืชทั้ง 3 กลุ่มนี้มีความใกล้ชิดกันมาก ในแง่ที่ล้วนเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ พืชบางชนิดมีประโยชน์หลากหลาย เช่น มะกรูด โหระพา กะเพรา เป็นได้ทั้งพืชเครื่องเทศ พืชน้ำมันหอมระเหย และพืชสมุนไพรไปพร้อมๆ กัน ขึ้นกับลักษณะการใช้ประโยชน์จากพืชเหล่านี้ ในส่วนขององค์ประกอบที่เป็นพืชน้ำมันหอมระเหย หรือสารให้กลิ่นและรสชาติที่สกัดจากเนื้อเยื่อพืช (flavoring substance) ดังนั้นพืชสมุนพืชเครื่องเทศจึงมีความสำคัญในเชิงอุตสาหกรรมทั้งในการเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมเครื่องเทศ อุตสาหกรรมน้ำมันหอมระเหย และอุตสาหกรรมยาไปพร้อมๆ กัน (พิทยา, 2551)

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น มักมีกลิ่นหอม ระเหยง่าย โดยพืชเหล่านี้จะมีเซลล์พิเศษ ต่อมหรือท่อ เพื่อสร้างและกักเก็บน้ำมันหอมระเหย ซึ่งจะเห็นต่อมน้ำมันได้ชัดในส่วนของใบและเปลือกผลของพืชจำพวกส้ม น้ำมันหอม ระเหยพบได้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด (ฝ่ายเภสัชและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ, 2553)

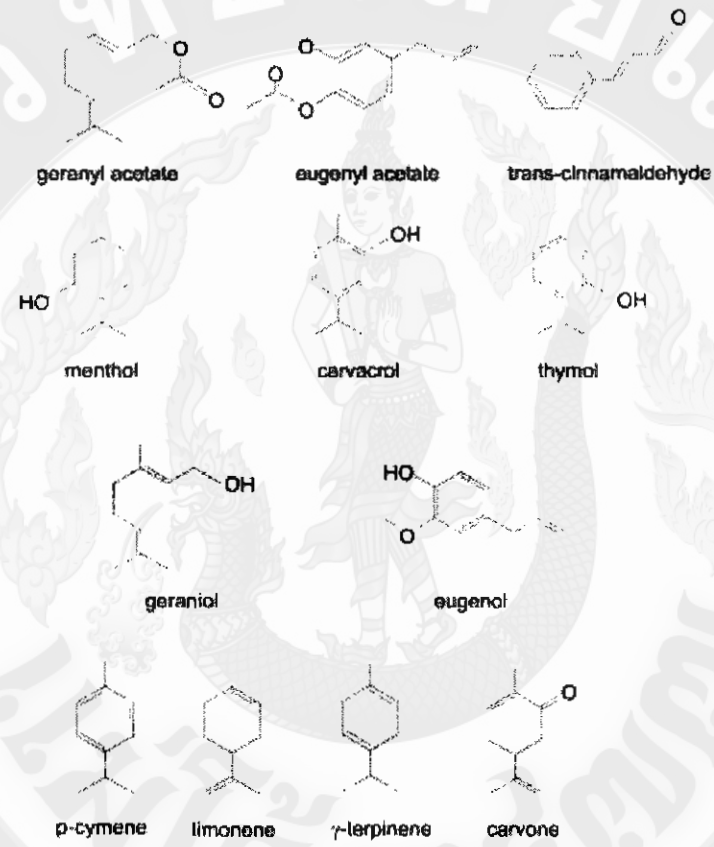
1. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

ประกอบด้วยสาระสำคัญ 2 กลุ่ม คือ เทอปีน (terpenes) และ ฟีนีลโพรปานอยด์ (phenyl propanoids)

1) สารเทอปีนที่พบมากในน้ำมันหอมระเหย เป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้แก่ โมโนเทอปีน (monoterpenes, C-10) เช่น limonene, citral, geraniol, menthol, camphor และเสสควิเทอปีน (sesquiterpenes, C-15) เช่น b-bisabolene และ b-caryophyllene

2) ฟีนีลโพรพานอยด์ (C6-C1) พบได้น้อยกว่าสารกลุ่มเทอปีน ได้แก่ eugenol และ anethole

กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยในส่วนของดอกไม้มีบทบาทสำคัญในการช่วยดึงดูด แมลงมาผสมเกสร น้ำมันหอมระเหยในส่วนอื่นๆ ของพืชเชื่อว่ามีผลในการป้องกันตนเอง จากศัตรูภายนอกที่จะมาทำลายพืชนั้นๆ เช่น แมลง เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อโรค เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยมีสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบในน้ำมันหอมระเหย
ที่มา Burt (2004)

2. พืชที่ให้น้ำมันหอมระเหย

พืชที่ให้น้ำมันหอมระเหยมีกระจายอยู่ในวงศ์พืชต่างๆ ไม่เกิน 60 วงศ์ ที่สำคัญ เช่น Labiatae (มินต์) Rutaceae (ส้ม) Zingiberaceae (ขิง) และGramineae (ตะไคร้) เป็นต้น

พืชที่ให้น้ำมันหอมระเหยที่มีปลูกเป็นการค้ามีอยู่ไม่เกิน 100 ชนิดที่สำคัญมีดังนี้

1) สะระแหน่ (peppermint-*Mentha piperata*, spearmint-*M. spicata*, *M. cardiaca* ในสหรัฐอเมริกา)

2) ตะไคร้ (lemongrass-*Cymbopogon citratus*) ในอินเดีย

3) ตะไคร้หอม (citronella-*Cymbopogon nardus*) ในไต้หวัน

4) กระดังงา (cananga or ylang-ylang-*Cananga odorata*) ในฟิลิปปินส์และอินโดนีเซีย

5) เบอร์กามอต (bergamot-*Citrus bergamia*) ในอิตาลี

6) โหระพา (sweet basil-*Ocimum basilicum)* ในเกาะรียูเนียน ชิลีและโคโมรอส

ตารางที่ 1 พืชที่เป็นแหล่งน้ำมันหอมระเหย

พืช	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อสามัญ	ส่วนที่ใช้	องค์ประกอบหลัก
กานพลู	*Syzygium aromaticum* (L.) Merr.	clove oil	ดอก	eugenol 98.14%
กระเพรา	*Ocimum tenuiflorum* L.	holy basil oil	ส่วนเหนือพื้นดิน	eugenol methyl ether 49.71% caryophyllene 20.13%
ข่า	*Alpinia galangal* (L.) Sw.	galangal oil	เหง้า	eucalyptol 49.71%
ขิง	*Zingiber officinale* Roscoe	ginger oil	เหง้า	zingiberene 40.68% alpha-farnesene 15.00%
ขมิ้นชัน	*Curcuma longa* L.	tumeric oil	เหง้า	ar-tumerone 16.13% tumerone 37.11% curlone 14.87%
ตะไคร้	*Cymbopogon citratus* DC. Stapf	lemongrass oil	ส่วนเหนือพื้นดิน	alpha-citral 45.38% 3,7-dimethyl 2,6-octadienal 34.07%
พริกไทยดำ	*Piper nigrum* L.	black pepper oil	เมล็ด	beta- caryophyllene 40.82%
ลูกผักชี	*Corianerum sativum* L.	coriander oil	เมล็ด	beta-linalool 87.19%
ผิวมะกรูด	*Citrus hystrix* DC.	kaffir lime's peel oil	ผิวผล	D-limonene 25.24% beta-pinene 15.82% alpha-terpieol 11.34%
ใบมะกรูด	*Citrus hystrix* DC.	kaffir lime's leaf oil	ใบ	citronellal 76.65%
ไพล	*Zingiber montanum* (Koenig)	plai oil	เหง้า	terpinen-4-ol 28.54%
โหระพา	*Ocimum basilicum* L.	sweet basil oil	ส่วนเหนือพื้นดิน	phellenrene 31.92% *p*-propenyl 89.48%

ที่มา นวลจันทร์ และสุภาพร (2550)

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชแต่ละชนิด

ชนิดของพืช	ปริมาณผลผลิต (% w/w)	ชนิดของพืช	ปริมาณผลผลิต (% w/w)
เปลือกผลมะนาว	1.97	ดอกจำปี	0.13
เปลือกผลมะกรูด	4.60	เมล็ดพริกไทยสด	0.50
กระเพรา	0.10	ใบแปรงล้างขวด	0.27
โหระพา	0.30	เร่ว	1.20
รากหญ้าแพรกหอม	1.47	เหง้าไพล	1.20
รากกระชาย	0.24	แฝกหอม (ราก)	0.11
ขิง	0.20	ดอกมะนาว	0.18
ใบยูคาลิปตัส	0.30-0.40	รากผักชี	0.03
เหง้าขมิ้น	0.40	รากผักชี (แก่)	0.10
ใบพลู	0.10	ใบผักชี	0.08
ใบฝรั่ง	0.20	ใบแมงลัก	0.07
ใบตะไคร้หอม	0.60	กานพลู	10.43
ใบตะไคร้บ้าน	0.60	เทียนข้าวเปลือก	1.00
ใบยี่หร่า	0.06		

ที่มา สุรัตน์วดี (2552)

3. กระบวนการสังเคราะห์สารให้กลิ่นและรสชาติ

สารให้กลิ่นและรสชาติในพืชเครื่องเทศเป็นสารที่มีคุณลักษณะเฉพาะตัวที่มนุษย์นำไปใช้ประโยชน์ในด้านกลิ่น รสชาติ สีธรรมชาติ เป็นยารักษาโรค เป็นเครื่องสำอาง เป็นสารที่มีฤทธิ์กำจัดแมลง รวมทั้งนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น แทนนินในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นต้น ในกรณีของพืชเครื่องเทศ สาระสำคัญที่นำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ สารให้กลิ่นหอมและรสชาติ และสารให้สีในบางพืช ซึ่งสารเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นในพืชโดยผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมเฉพาะดังนี้

1) สารให้กลิ่นหอม (odouring substances) น้ำมันหอมระเหย หรือน้ำมันระเหยง่าย (essential oil หรือ volatile oil หรือ ethereal oil) ซึ่งมีลักษณะเป็นน้ำมันเหลวใส ปกติสีเหลืองอ่อนหรือเหลืองอำพัน (ยกเว้นกรณีน้ำมันหอมระเหยจาก ดอกคาโมมายที่เป็นสีน้ำเงินเข้มเมื่อกลั่นได้ใหม่ แต่จะซีดจางลงเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน) น้ำมันเหล่านี้มีจุดเดือดต่ำมาก เมื่อเทียบกับ

น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันรำข้าวที่ใช้สำหรับทอดอาหาร ซึ่งจุดเดือดสูงกว่า 200 °C แต่น้ำมันหอมระเหยจะมีจุดเดือดที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 °C) จึงทำให้น้ำมันเหล่านี้ระเหยกลายเป็นไอแม้ในสภาพอุณหภูมิปกติ ทำให้มนุษย์ได้กลิ่นหอมเฉพาะตัวของแต่ละพืช และทำให้มีคุณค่าด้านกลิ่นเมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง อาหาร ยา และเครื่องดื่ม

ข้อจำกัดเฉพาะตัวของน้ำมันหอมระเหย คือทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่าย (oxidize หรือ resinification) เมื่อสัมผัสกับอากาศ หรือจะแปรสภาพเมื่อกระทบกับแสงความเข้มสูง ทำให้สีของน้ำมันหอมระเหยเข้มขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษาน้ำมันหอมระเหยจึงต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ไม่ถูกแสง เก็บในที่แห้ง และควรเก็บในลักษณะที่บรรจุเต็มขวด (ไม่มีช่องว่างของอากาศ) และมีฝาปิดสนิท ปกตินิยมเก็บในขวดแก้วสีชา หรือภาชนะเครื่องเคลือบดินเผาทึบแสง (ceramics) หรือภาชนะที่เป็นโลหะไร้สนิม (stainless steel) พืชเครื่องเทศสังเคราะห์สารให้กลิ่นหอมและรสชาติผ่าน 2 กระบวนการหลัก ได้แก่

1.1) การใช้สาร acetyl- coA เป็นสารตั้งต้น ผ่านกระบวนการ acetate-mevalonic acid path

ขั้นตอนดังกล่าวโดยมีสาร intermediate สำคัญคือ isopentyl pyrophosphate และ dimethylallyl pyrophosphate เป็นสารสำคัญของกระบวนการ ได้เป็น isoprene unit (C_5H_8) บางครั้งจึงเรียกกระบวนการนี้ว่า isoprenoid pathway แต่เนื่องจาก isoprene เป็นสารไม่คงตัวจึงต้องจับกับสารอื่น หรือจับกันเองได้เป็น terpene รูปแบบต่างๆ เช่น monoterpenes ($C_{10}H_{16}$, 2 isoprene units) sesquitterpene ($C_{15}H_{24}$, 3 isoprene units) diterpenes ($C_{20}H_{32}$, 4 isoprene units) และ triterpenes ($C_{30}H_{48}$, 2 isoprene units) แต่ส่วนใหญ่ที่พบในพืชจะเป็นประเภท momoterpenes ซึ่งอาจจะพบการเรียงโครงสร้างของโมเลกุลแบบเส้นตรง อาจแยกสาขาบ้าง (acyclic) หรืออาจเป็นแบบ monocyclic หรือ bicyclic โดยในโครงสร้างทุกแบบจะประกอบด้วยอะตอมของ C, H และ O และมีบางโมเลกุลที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน หรือเรียกว่าเป็นอนุพันธ์กัน (derivatives) เนื่องจากการแปรเปลี่ยนของ functional group เป็น alcohols, aldehydes, ketones, phenols, oxides และ เอสเทอร์

1.2) การใช้สาร phosphoenol pyruvate ทำปฏิกิริยากับ erythrose ผ่านกระบวนการ shikimic acid pathway

กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการชีวสังเคราะห์สารให้กลิ่นและรสชาติประเภท phenylpropanoids จากคาร์โบไฮเดรต โดยเริ่มต้นที่น้ำตาลผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมจนได้สาร phosphoenolpyruvate ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ erythrose-4-phosphate ได้ shikimic acid และสาร phenylpropane derivatives ตามลำดับ ผลิตผลเหล่านี้มีโครงสร้างพื้นฐานเป็น C6

phenyl ring และมี side chain เป็น C3 propane และส่วนใหญ่มี functional group เป็น phenols และ phenol ester ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ tyrosine และ phenylalanine เป็นต้น ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารให้กลิ่นและรสชาติในพืชเครื่องเทศต่อไป เช่น cinnamic acid ในอบเชย และ *p*-coumaric acid เป็นต้น

น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากพืชแต่ละชนิดไม่ได้ประกอบด้วยสารอินทรีย์ดังกล่าวข้างต้นเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือมี functional group แบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น แต่จะมีหลายชนิดปะปนกัน บางครั้งมีสารอินทรีย์เหล่านี้รวมกันถึงมากกว่า 300 ชนิด สัดส่วนของสารอินทรีย์ แต่ละชนิดในน้ำมันหอมระเหยจะมีผลต่อคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติ

4. วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย

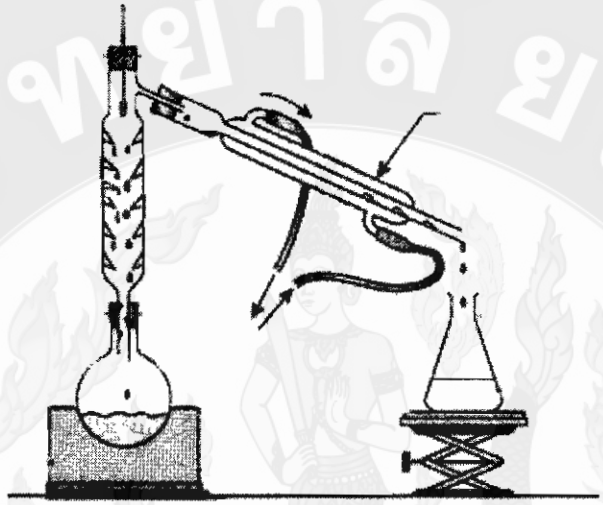
การสกัดกลิ่นหอมออกจากพืชหอม ได้มีการทำมาเป็นเวลานานแล้ว โดยในสมัยโบราณจะนิยมนำดอกไม้หอมมาแช่น้ำทิ้งไว้ และนำน้ำที่มีกลิ่นหอมนั้น ไปใช้ดื่มหรืออาบ ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการสกัดกลิ่นหอม เพื่อให้ได้กลิ่นหอม หรือ น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพ และปริมาณสูงสุด วิธีการดังกล่าวนั้นมีหลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีใดนั้น ต้องพิจารณาลักษณะของพืชที่จะนำมาสกัดด้วย น้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชเครื่องเทศจะถูกเก็บสะสมใน oil cell, oil gland และ vitae หรือในขนหรือต่อมน้ำมันที่ผิวของใบ กิ่ง และลำต้น น้ำมันหอมระเหยเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นไขมันที่มีจุดเดือดต่ำ และจุดเดือดเฉพาะตัว เพราฉะนั้นเราจึงสามารถแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากเนื้อเยื่อพืชได้หลายวิธี (พิทยา, 2551)

4.1 การกลั่น (distillation)

การสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการกลั่นเป็นการใช้ไอน้ำแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากเนื้อเยื่อพืช โดยอาศัยคุณสมบัติความมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำและความเป็นน้ำมันที่ไม่รวมกับน้ำ สามารถใช้เทคนิคที่แตกต่างกันได้หลายวิธี

4.1.1 การต้มกลั่น (water distillation หรือ hydrodistillation) การต้มกลั่นทำได้โดยแช่ตัวอย่างพืชในน้ำที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิด ต้มน้ำให้เดือด ผ่านส่วนไอน้ำที่มีน้ำมันหอมระเหยปนอยู่ไปยังเครื่องควบแน่น ไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยจะกลั่นตัวเป็นของเหลวไหลลงสู่ภาชนะรองรับ ซึ่งน้ำมันหอมระเหยกับน้ำจะไม่รวมตัวกันและแยกเป็นชั้น จึงสามารถแยกเฉพาะน้ำมันหอมระเหยออกมาเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปได้ เป็นกระบวนการพื้นฐานที่นิยมใช้กันมากในอดีต สำหรับการผลิตน้ำมันหอมระเหยเชิงการค้าที่ไม่มุ่งเน้นคุณภาพมากนัก ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเนื้อเยื่อพืชที่มีความบอบบาง เช่น ใบไม้สด หรือดอกไม้ ไม่นิยมใช้วิธีนี้ เพราะมีข้อจำกัดคือต้องใช้

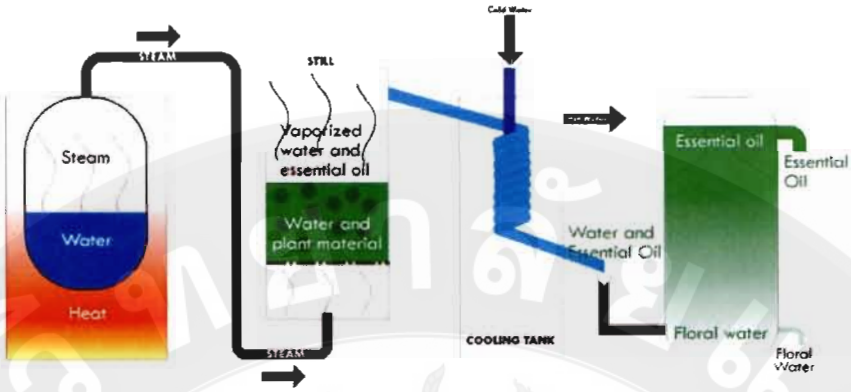
อุณหภูมิสูงในการต้ม เนื้อเยื่อพืชจะกระทบกับอุณหภูมิสูงโดยตรง ทำให้มีโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยเปลี่ยนไปหรือบางครั้งมีกลิ่นปลอมปนเข้ามาด้วย เช่น กลิ่นผักนึ่ง ทำให้คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยต่ำลง การกลั่นแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การกลั่นด้วยวิธีต้มกลั่น (water distillation)
ที่มา water distillation (2011)

4.1.2 การกลั่นแยกส่วน (water-steam distillation) เป็นการต้มน้ำและไอน้ำเป็นตัวพาน้ำมันหอมระเหยออกจากเนื้อเยื่อไปผ่านเครื่องควบแน่นเช่นกัน แต่วิธีนี้วัตถุดิบและน้ำจะอยู่แยกส่วนกันแต่ยังอยู่ในภาชนะเดียวกัน

4.1.3 การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิในหม้อกลั่นและเพื่อลดระยะเวลาการกลั่นโดยการแยกส่วนของการผลิตไอน้ำออกจากส่วนของเครื่องมือที่บรรจุวัตถุดิบ เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเนื้อเยื่อพืชสด เช่น ตะไคร้หอม โหระพา และมินต์ แต่ไม่นิยมใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ เพราะถึงแม้จะทำให้อุณหภูมิต่ำลงกว่าวิธีการต้มกลั่น แต่ก็ยังสูงเกินไปสำหรับดอกไม้เกือบทุกชนิด ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation)
ที่มา steam distillation (2011)

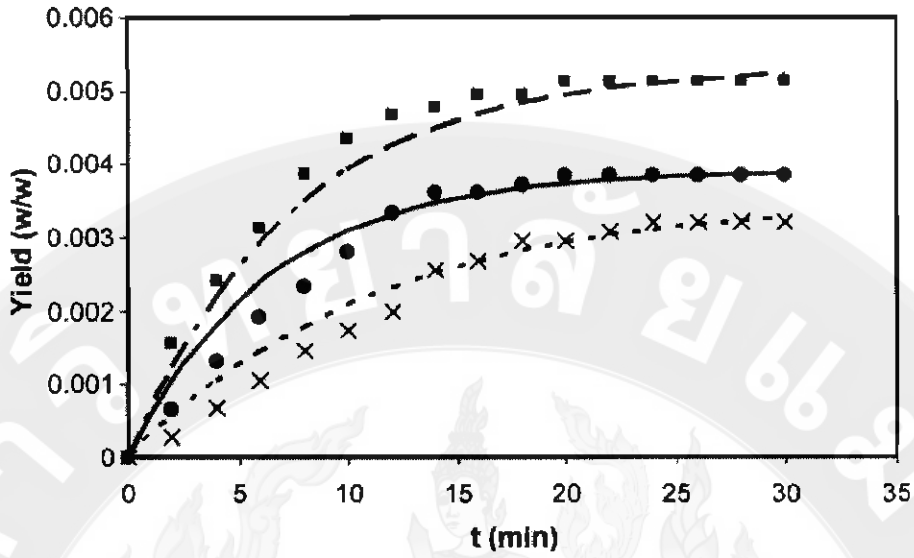
ในการแยกน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการกลั่นนี้ มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยคุณภาพดี คือ

1) อุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยเปลี่ยนแปลง คุณภาพด้านกลิ่นก็จะเปลี่ยนไป ซึ่งส่วนใหญ่มักจะมีคุณภาพต่ำลง เกิดกลิ่นไหม้หรือมีกลิ่นผักนึ่งปนมาด้วย นอกจากนั้นน้ำมันหอมระเหยจะมีสีเข้มขึ้น

2) ความแน่นในการบรรจุเนื้อเยื่อพืชลงในภาชนะบรรจุ ปกติมักบรรจุค่อนข้างแน่นเพื่อให้ไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อพืชไปอย่างช้าๆ จะทำให้ประหยัดพลังงาน และได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยออกมามากในเวลาค่อนข้างเร็ว แต่การบรรจุที่แน่นเกินไปจะทำให้ไอน้ำเคลื่อนที่ช้ามากจนเกิดปัญหาความร้อนสะสมภายในวัตถุดิบที่บรรจุอยู่ในภาชนะทำให้เกิดปัญหาด้านกลิ่นและสีได้เช่นเดียวกัน

3) วัตถุที่นำมาใช้ทำเครื่องกลั่น ปกติจะเลือกใช้อะลูมิเนียม หรือ stainless steel ที่ไม่เป็นสนิม และไม่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย ไม่นิยมใช้เหล็ก ทองแดง เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากพืชบางชนิด หรือองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหยบางชนิดจะทำปฏิกิริยากับเหล็กและทองแดง ทำให้คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยผิดปกติ

Cassel *et al.* (2009) ได้ทดลองสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยใช้พืช 3 ชนิด ได้แก่ โรสแมรี่ โหระพา และลาเวนเดอร์ ผลการสกัดที่ได้แสดงดังภาพที่ 4



หมายเหตุ ■ หมายถึง โรสแมรี่, ● หมายถึง โหระพา และ x หมายถึง ลาเวนเดอร์

ภาพที่ 4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ

ที่มา Cassel *et al*. (2009)

จากภาพที่ 4 พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากโรสแมรี่ โหระพา และลาเวนเดอร์ เท่ากับ 0.51, 0.38 และ 0.32 % (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ โดยโรสแมรี่เป็นพืชที่ให้น้ำมันหอมระเหยสูงสุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากโรสแมรี่มีใบที่บางกว่าพืชอีก 2 ชนิด ใบพืชที่ใช้ในการสกัดมีความหนาดังนี้ โรสแมรี่ 0.00044 มิลลิเมตร โหระพาและลาเวนเดอร์ 0.00047 มิลลิเมตร จึงส่งผลให้โรสแมรี่มีเนื้อเยื่อบางกว่า จึงสกัดน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ง่ายอีกทั้งโรสแมรี่เป็นพืชที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าพืชอีก 2 ชนิด กล่าวคือ โรสแมรี่มีความหนาแน่น 0.812 กรัมต่อมิลลิลิตร ขณะที่ โหระพาและลาเวนเดอร์ มีความหนาแน่น 0.825 และ 0.837 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จึงส่งผลสกัดน้ำมันหอมระเหยได้สูงสุด

4.2 **การสกัดด้วยสารละลาย** (solvent extraction)

พิทยา (2551) รายงานว่า การสกัดด้วยสารละลายเป็นกระบวนการแยกน้ำมันหอมระเหยโดยอาศัยคุณสมบัติที่ว่า น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ในพืชที่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ (organic solvent) บางชนิด เช่น เอทานอล เมทานอล แอลกอฮอล์ อะซิโตน เฮกเซน เบนซีน อีเทอร์ (ปิโตรเลียมอีเทอร์) และเอทิลอะซิเตท เป็นต้น และน้ำมันหอมระเหยและสารละลายอินทรีย์มีจุดเดือดที่ไม่เท่ากัน

วิธีการในการสกัดน้ำมันหอมระเหยออกจากเนื้อเยื่อพืช คือ นำเนื้อเยื่อพืชที่แห้งและบดละเอียดมาแช่ในสารละลายอินทรีย์ (organic solvent) ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อปล่อยให้น้ำมันหอมระเหยละลายออกมาอยู่ในสารละลายอินทรีย์ หลังจากนั้นจึงกรองแยกกากเนื้อเยื่อพืชออก นำสารละลายที่ได้ไปผ่านกระบวนการกลั่นที่จุดเดือดเหมาะสมกับตัวทำละลายอินทรีย์หรือตัวน้ำมันหอมระเหย เพื่อให้สารที่ถึงจุดเดือดก่อนระเหยแยกตัวออกไป ก็จะสามารถแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากสารละลายอินทรีย์ได้ วิธีนี้ต้องบดเนื้อเยื่อพืชเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเซลล์ที่สะสมน้ำมันหอมระเหยกับสารอินทรีย์ที่เป็นตัวทำละลาย

ข้อดีของวิธีการนี้

1) สามารถแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากเนื้อเยื่อพืชได้มากกว่าการกลั่น เช่น น้ำมันหอมระเหยจากขิง ถ้าใช้วิธี water distillation ได้น้ำมันหอมระเหย 0.15 % (โดยน้ำหนัก) แต่ถ้าใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์สกัด จะสกัดได้สารสกัด 11.0 % หรือยูคาลิปตัส ถ้าใช้ water distillation ได้ 0.75 % (โดยน้ำหนัก) แต่ถ้าใช้เอทานอลจะได้สารสกัดหยาบ 32.0 %

2) เนื่องจากไม่ได้ใช้อุณหภูมิสูงเกินไป จึงได้น้ำมันหอมระเหยคุณภาพดี ไม่ส่งผลให้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี

ข้อด้อย

1) ความบริสุทธิ์ของน้ำมันหอมระเหยจะต่ำกว่าวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เนื่องจากในเนื้อเยื่อพืชจะมีสารอินทรีย์หลายชนิดที่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ที่นำมาใช้ จึงทำให้สารต่างๆ เหล่านี้ละลายปนอยู่ในน้ำมันหอมระเหย ทำให้ต้องมีต้นทุนเพิ่มสำหรับการแยกสิ่งแปลกปลอมนี้ออกภายหลัง สารสกัดเข้มข้นที่ได้นี้ เรียกว่า oleoresin มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์หลายชนิดรวมกันอยู่ ได้แก่ สารให้กลิ่นและรสชาติ ไขมัน เรซิน เม็ดสี (pigments) wax และ albumen

2) ต้นทุนการผลิตสูง เพราะต้องใช้สารละลายอินทรีย์เป็นตัวสกัดน้ำมันหอมระเหยออกจากเนื้อเยื่อพืช ซึ่งสารละลายอินทรีย์มักมีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ถ้าสามารถสามารถนำเอาสารละลายอินทรีย์กลับมาใช้อีกได้หลายๆ ครั้ง ก็จะสามารถลดต้นทุนลงได้

วิธีการสกัดเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากเนื้อเยื่อที่ไม่ทนต่อความร้อนและน้ำมันที่ได้มีราคาแพง จึงเป็นน้ำมันหอมระเหยที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสินค้าราคาแพง เช่น เครื่องสำอาง ยารักษาโรค และอาหารสำเร็จรูปต่างๆ เป็นต้น ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากกระบวนการกลั่นจะมีความบริสุทธิ์มาก จึงนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมด้านกลิ่นที่มีคุณภาพสูงๆ เช่น น้ำหอมและเครื่องสำอาง เป็นต้น ส่วนน้ำมันหอมระเหยคุณภาพต่ำนิยมนำไปใช้

ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความซับซ้อนและราคาถูก ส่วนใหญ่เป็นเครื่องอุปโภค เช่น สบู่ ผงซักฟอก น้ำยาทำความสะอาด และ ยากันยุง เป็นต้น

4.3 **การสกัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์** (carbon dioxide extraction)

สิริลักษณ์ (2545) รายงานว่า การสกัดทำได้โดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ที่ความดันสูงผ่านพืชสมุนไพรที่ต้องการสกัด คาร์บอนไดออกไซด์จะมีข้อดีกว่าตัวทำละลายอื่นๆ คือ เป็นสารที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ และไม่ติดไฟง่าย นอกจากนั้นยังมีจุดเดือดต่ำมาก การปรับเพิ่มอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยหรือการลดความดันในภาชนะสกัดทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนรูปเป็นก๊าซและระเหยแยกตัวออกไป ได้สารให้กลิ่นหอมเหลืออยู่

4.4 Enfleurage

พิทยา (2551) การสกัดด้วยวิธีนี้เป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืช ที่พัฒนามาจากองค์ความรู้ของแม่บ้านชาวเอเชีย ที่นำดอกไม้สดไปแช่ในน้ำมันพืชหรือไขมัน เพื่อสกัดสารให้กลิ่นหอมจากดอกไม้ และนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งต่อมาเทคนิคนี้ได้ขยายตัวไปสู่ประเทศฝรั่งเศส และพัฒนาไปสู่การสกัดด้วยวิธีที่เรียกว่า enfleurage ซึ่งมีประโยชน์มากในการแยกน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ที่ยังสามารถปลดปล่อยสารให้กลิ่นหอมปริมาณมากกว่าการแยกด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายหรือการกลั่น ซึ่งเซลล์ของดอกไม้จะตายทันทีที่แช่ในสารละลายหรือกระทบอุณหภูมิสูง แต่วิธี enfleurage ดอกไม้จะมีชีวิตอยู่ได้หลายวัน และทยอยปลดปล่อยสารให้กลิ่นอย่างต่อเนื่องจนเหี่ยวหรือเน่าเสียไป

การสกัดจะใช้ภาชนะทรงแบนที่มีฝาปิดแน่นเป็นอุปกรณ์พื้นฐาน นำแผ่นกระจกที่เคลือบด้วยไขมันข้น (grease) ที่ค่อนข้างแข็งตัวที่อุณหภูมิ 40-45 ^{o}C เกลี่ยดอกไม้ที่ต้องการสกัดน้ำมันหอมระเหยให้ทั่วผิวหน้าไขมัน แล้วปิดภาชนะให้แน่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1-3 วัน ระหว่างนี้สารให้กลิ่นจะระเหยจากดอกไม้และไปละลายอยู่ในไขมันที่ผิวหน้ากระจก เมื่อดอกไม้เริ่มเหี่ยว จึงเปลี่ยนดอกไม้ชุดใหม่แทนและวางทิ้งไว้เหมือนเดิม เปลี่ยนดอกไม้ 3-4 ครั้ง จนไขมันมีน้ำมันหอมระเหยละลายปนอยู่จำนวนมากพอหรือค่อนข้างอิ่มตัว จึงทำการขูดแยกออกจากกระจก เพื่อนำไปแยกน้ำมันหอมระเหยต่อไป

ไขมันที่อิ่มตัวด้วยสารให้กลิ่นจากดอกไม้เรียกว่า "pomade" ซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตเครื่องสำอางหรือนำไปละลายในแอลกอฮอล์ จะได้สารละลายที่เรียกว่า "extrait" หรือ "absolute pomade" ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้เช่นกัน

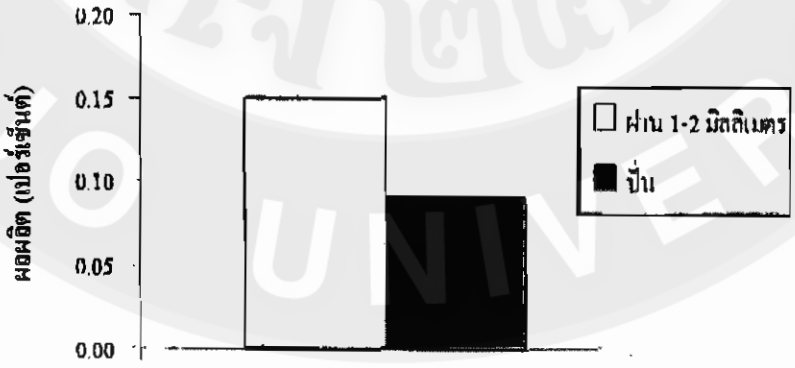
4.5 **การหีบ** (pressing)

การหีบเป็นการแยกน้ำมันหอมระเหยจากเนื้อเยื่อของพืชโดยวิธีทางกล โดยนำเนื้อเยื่อพืชไปใส่ไว้ในระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่น ที่บีบเข้าหากันได้ เพื่ออาศัยแรงบีบไล่น้ำมันหอมระเหย

ออกจากเนื้อเยื่อพืช นิยมใช้มากในพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยปริมาณมากและสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชในลักษณะของต่อมน้ำมัน เช่น เปลือกส้ม เปลือกผลมะกรูด เทคนิคสำคัญของวิธีนี้คือ แผ่นเหล็กที่ใช้บีบเนื้อเยื่อพืชจะต้องเป็นแผ่นเหล็กที่มีความเย็นจัดเพื่อไม่ให้น้ำมันหอมระเหย ระเหยสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิต ปกติอุณหภูมิของแผ่นเหล็กจะอยู่ที่ 5-10 ^{o}C น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีลักษณะขุ่นเล็กน้อย เนื่องจากการบีบจะทำให้เซลล์ของเนื้อเยื่อพืชแตก ของเหลวที่อยู่ในเซลล์จะไหลปะปนออกมากับน้ำมันหอมระเหยด้วย ของเหลวที่ได้จึงมีลักษณะขุ่น จึงต้องนำไปทำให้บริสุทธิ์โดยการปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอน เนื่องจากการหีบทำภายใต้อุณหภูมิต่ำ จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า "cold pressing" หรือบางครั้งเรียกว่า expressing (พิทยา, 2551)

ธีรศิลป์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันมันหอมระเหยจากขิง โดยศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ดังนี้ การเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อัตราส่วนของขิงต่อตัวทำละลาย และการสกัดด้วยซอกเลต โดยมีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาผลของการเตรียมวัตถุดิบโดยเปรียบเทียบระหว่างวัตถุดิบที่ฝานบางประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และวัตถุดิบที่เตรียมโดยการปั่น จากการทดลองพบว่า วัตถุดิบที่เตรียมโดยการฝานบาง 1-2 มิลลิเมตร และวัตถุดิบที่เตรียมโดยการปั่นให้ผลผลิตที่ได้มีค่า 0.152 และ 0.091 % ตามลำดับ ดังภาพที่ 5 ผลผลิตได้ของขิงที่เตรียมจากการฝานจะสูงกว่า การเตรียมวัตถุดิบแบบปั่นประมาณเกือบสองเท่า เนื่องจากการฝานบาง 1-2 มิลลิเมตร ส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสของขิงสามารถสัมผัสตัวทำละลายได้ดีขึ้น ทำให้ผลผลิตที่ได้สูงขึ้น แต่เมื่อนำขิงมาปั่นทำให้เซลล์แตกและทำให้สารที่อยู่ในเซลล์ขิงสลายตัวส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ของน้ำมันหอมระเหยลดลง



ภาพที่ 5 ผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้
ที่มา ธีรศิลป์ และคณะ (2550)

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่มีต่อการสกัด โดยทดลองศึกษาอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 15, 10 และ 5 °C ทำการสกัดโดยการต้มกลั่นและการกลั่นด้วยไอน้ำ จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำ หล่อเย็นลดลงจาก 15 °C เป็น 10 °C ผลผลิตได้ของน้ำมันหอมระเหยจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการลดอุณหภูมิทำให้น้ำมันหอมระเหยเกิดการรวมตัวกันได้มากขึ้นและไม่กระจายในน้ำ ต่อมาเมื่อลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจาก 10 °C เป็น 5 °C พบว่าผลได้ของน้ำมันหอมระเหยลดลงเนื่องจากเกิดการควบแน่นของสารสกัดก่อนถึงชุดหล่อเย็น และจากการเปรียบเทียบการทดลองการต้มกลั่นและการกลั่นด้วยไอน้ำที่สภาวะได้ ผลได้ของน้ำมันหอมระเหยสูงที่สุด พบว่าผลได้ของน้ำมันหอมระเหยจากวิธีต้มกลั่นมากกว่าการสกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เนื่องมาจากการต้มกลั่นเป็นการที่น้ำร้อนให้ความร้อนโดยตรง ต่ออนุภาคขิง แต่การกลั่นด้วยไอน้ำไอน้ำจากน้ำเดือดถูกผ่านไปยัง เนื้อเยื่อขิงและให้ความร้อนแก่เนื้อขิง ในการทดลองไอน้ำอาจไม่สัมผัสกับขิงได้อย่างสมบูรณ์ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดีเท่าวิธีการต้มกลั่น

และเมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของขิงและตัวทำละลาย ทดลองโดยการต้มกลั่น จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของขิงต่อน้ำเพิ่มมากขึ้น ผลได้ของน้ำมันหอมระเหย มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณของขิง โดยปริมาณน้ำที่ใช้ยังเพียงพอในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิง ส่งผลให้ผลได้ของน้ำมันหอมระเหยเพิ่มมากขึ้นพิจารณาการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำหนักขิงต่อน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ได้ของน้ำมันหอมระเหยมีแนวโน้มคงที่ นอกจากนั้นยังได้ทดลองสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยซอกเลตพบว่าผลได้ของน้ำมันหอมระเหยมีค่าเท่ากับ 0.478 % เมื่อเปรียบเทียบผลการสกัดระหว่างการสกัด ด้วยการต้มกลั่นและการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่าการสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ การสกัดด้วยการต้มกลั่นเมื่อใช้อัตราส่วนของ น้ำหนักขิงต่อน้ำเท่ากับ 0.255 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 10 °C โดยได้น้ำมันหอมระเหย 0.287 % คิดเป็นประสิทธิภาพในการสกัด 60.04 % เมื่อเทียบกับผลการสกัดโดยวิธีซอกเลต

ดังนั้น ธีรศิลป์ และคณะ (2550) จึงสรุปว่า การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิงด้วยวิธีการต้มกลั่นเป็นวิธีการที่เหมาะสม โดยใช้ขิงสดผ่านจะให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สูงและสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 10 °C อัตราส่วนของขิงต่อน้ำโดยประมาณคือ 0.255 และปริมาณน้ำมันหอม ระเหยที่สูงที่สุดคิดเท่ากับ 0.287 %

Chaisawadi *et al.* (2005) พัฒนากระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิงโดยวิธีการกลั่นด้วย rotary evaporator โดยทำการออกแบบกระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ทำให้เกิดการใช้ของเหลือในกระบวนการให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีขั้นตอนดังนี้ การหั่นขิงสด และบดให้ละเอียดเพื่อนำส่วนที่บดละเอียดมาทำการบีบน้ำมันออกโดยใช้เครื่องบีบ จากนั้นนำไปสกัด

น้ำมันหอมระเหยต่อโดยวิธีกลั่นด้วยไอน้ำด้วยเครื่องกลั่นไอน้ำที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่อง rotary evaporator แล้วดำเนินเก็บข้อมูลในส่วนของน้ำมันหอมระเหยต่อจากนั้นจึงนำขิงที่เหลือในขั้นตอนของการบีบไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C แล้วนำขิงอบแห้งที่ได้ไปพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์สุวคนธบำบัดจากขิง ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดโดยใช้การกลั่นด้วยไอน้ำด้วยเครื่องกลั่นที่พัฒนาขึ้นและเครื่อง rotary evaporator พบว่าได้น้ำมันหอมระเหยเป็น 2.06 เท่า ซึ่งวิธีการสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำของขิงด้วย rotary evaporator ให้ผลผลิตสูงกว่าเครื่องกลั่นที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เครื่องกลั่นที่พัฒนาขึ้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสภาวะของการกลั่นได้มาก ขณะที่การใช้ rotary evaporator สามารถปรับสภาวะ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นอย่างแท้จริงก่อนดำเนินการสกัด กระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ออกแบบขึ้นนี้ สามารถใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ในกระบวนการผลิตได้ทั้งหมด

5. มาตรฐานน้ำมันหอมระเหยและการตรวจคุณภาพ

ในสภาพธรรมชาติ น้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์หลายชนิดผสมกัน บางครั้งมีมากกว่า 100 ชนิด สารเหล่านี้อาจผสมอยู่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยผันแปรได้มาก นอกจากนั้นในการผลิตน้ำมันหอมระเหยแต่ละครั้งนั้น อาจได้ผลผลิตที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น แหล่งที่มาของพืช อายุของพืช เทคนิคและวิธีการกลั่น และเวลาที่ใช้ในการกลั่น เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องตรวจคุณภาพของน้ำมันหอมระเหย โดยปกติการตรวจสอบจะพิจารณาจากคุณสมบัติ 2 ประการ ได้แก่ (พิทยา, 2551)

5.1 **มาตรฐานทางกายภาพ** (physical standard)

มาตรฐานทางกายภาพเป็นลักษณะภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือสามารถใช้เครื่องมืองง่ายๆ ในการตรวจสอบ เช่น

5.1.1 สี โดยปกติน้ำมันหอมระเหยมักจะมีสีเหลืองอ่อนใส จนถึงสีน้ำตาล-เขียวเข้ม ขึ้นกับชนิดของเนื้อเยื่อพืชที่นำมาใช้ และขึ้นกับกระบวนการในการแยกน้ำมันหอมระเหย ในการกลั่นจะได้น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์สีเหลืองอ่อน-ใส ในการแยกโดยการใช้สารละลายอินทรีย์สกัดส่วนของใบจะได้น้ำมันหอมระเหยสีเหลืองอมเขียว ส่วนที่สกัดได้จากดอกไม้จะได้สีเหลืองใสถึงสีเหลืองอำพัน สีของน้ำมันหอมระเหยเป็นปัจจัยแรกที่ผู้รับซื้อพิจารณา เพราะเป็นตัวบ่งบอกว่าวิธีแยกน้ำมันหอมระเหยจากเนื้อเยื่อพืชถูกต้องและเหมาะสมหรือไม่ ใช้อุณหภูมิเหมาะสม หรือวัตถุดิบเป็นเนื้อเยื่อที่มีความสะอาดเพียงใด

5.1.2 กลิ่น แสดงถึงความตรงตามพันธุ์ และโอกาสในการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท อาจใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนเพื่อการตรวจสอบ เช่น HPLC หรือ GC เป็นต้น

5.1.3 ความหนืด (viscosity) น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ที่ได้จากการกลั่นไอน้ำ จะมีความหนืดปานกลาง แต่น้ำมันหอมระเหยที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จะมีความข้นหนืดมากขึ้น เนื่องจากมีไขมันที่ไม่ใช่น้ำมันอมระเหยปนอยู่จำนวนมาก

5.1.4 การละลายได้ในสารละลาย (miscibility) นิยมใช้เอทานอล 95 % หรือการใช้เอทานอลผสมน้ำ เป็นตัวทำละลายเปรียบเทียบ โดยกำหนดปริมาตรตัวทำละลายเป็นมาตรฐาน เช่น 1 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ หยดน้ำมันหอมระเหยจนตัวทำละลายขุ่นจึงหยุด ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ถือเป็นค่ามาตรฐาน

5.1.5 การเบี่ยงเบนแสง (optical rotation) นำน้ำมันหอมระเหยมาอ่าค่าด้วยเครื่องมือ polarimeter เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนแสงของสารให้กลิ่นเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกลาง แสดงถึงความบริสุทธิ์ได้ เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานหาปริมาณสารที่ต้องการที่ผสมอยู่ในน้ำมันหอมระเหย

5.1.6 ค่าดัชนีหักเห (refractive index) ตรวจวัดด้วยเครื่อง refractometer ใช้แสดงสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยเช่นกัน

5.1.7 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density)

5.2 **มาตรฐานทางเคมี**

นอกจากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพแล้ว กรณีต้องการนำน้ำมันหอมระเหยไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสูง และมีความละเอียดอ่อนด้านกลิ่นมากๆ เช่น น้ำหอมบุรุษ-สตรี ผู้ผลิตจะต้องตรวจสอบเชิงลึกถึงปริมาณของสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยมากกว่าเพียง 2-3 ชนิด ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งในการดำเนินงานต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูง เนื่องจากเป็นการตรวจสอบสารที่มีปริมาณน้อยมาก และมีความผันแปรทางโครงสร้างโมเลกุลสูง และไม่ใช่เป็นเพียงสารชนิดเดียว แต่เป็นสารหลายชนิดปนกันอยู่ การตรวจสอบคุณภาพทางเคมีด้วยเครื่องมือประเภทโครมาโทกราฟี (TLC, GC, HPLC และ GC-MS) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบที่มีต้นทุนสูง เพราะต้องใช้กระบวนการและเครื่องมือที่มีความไวสูง การตรวจสอบมาตรฐานทางเคมีนี้จะดำเนินการเพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ เพื่อกำหนดราคาจำหน่ายและเพื่อกำหนดแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ว่าต้องมีการปรับแต่งองค์ประกอบทางเคมีอย่างไร

ตัวอย่างชนิดองค์ประกอบหลักที่ตรวจวิเคราะห์เพื่อกำหนดคุณภาพ

1) กลุ่ม acid	- cinnamic acid ในอบเชย
	- benzoic acid ในกำยาน
2) กลุ่ม ester	- cineole ในอบเชย
3) กลุ่ม alcohol	- menthol ในมิ้นต์
	- citronellol ในตะไคร้หอม
4) กลุ่ม aldehyde	- citrol จากส้ม
5) กลุ่ม ketone	- menthone ในมิ้นต์
	- carvone จากขิง ข่า
6) กลุ่ม phenol	- eugenol จากอบเชย และกานพลู thymol ใน thyme
7) กลุ่ม lactone	- coumarine ในขมิ้น

6. ความสำคัญของน้ำมันหอมระเหย

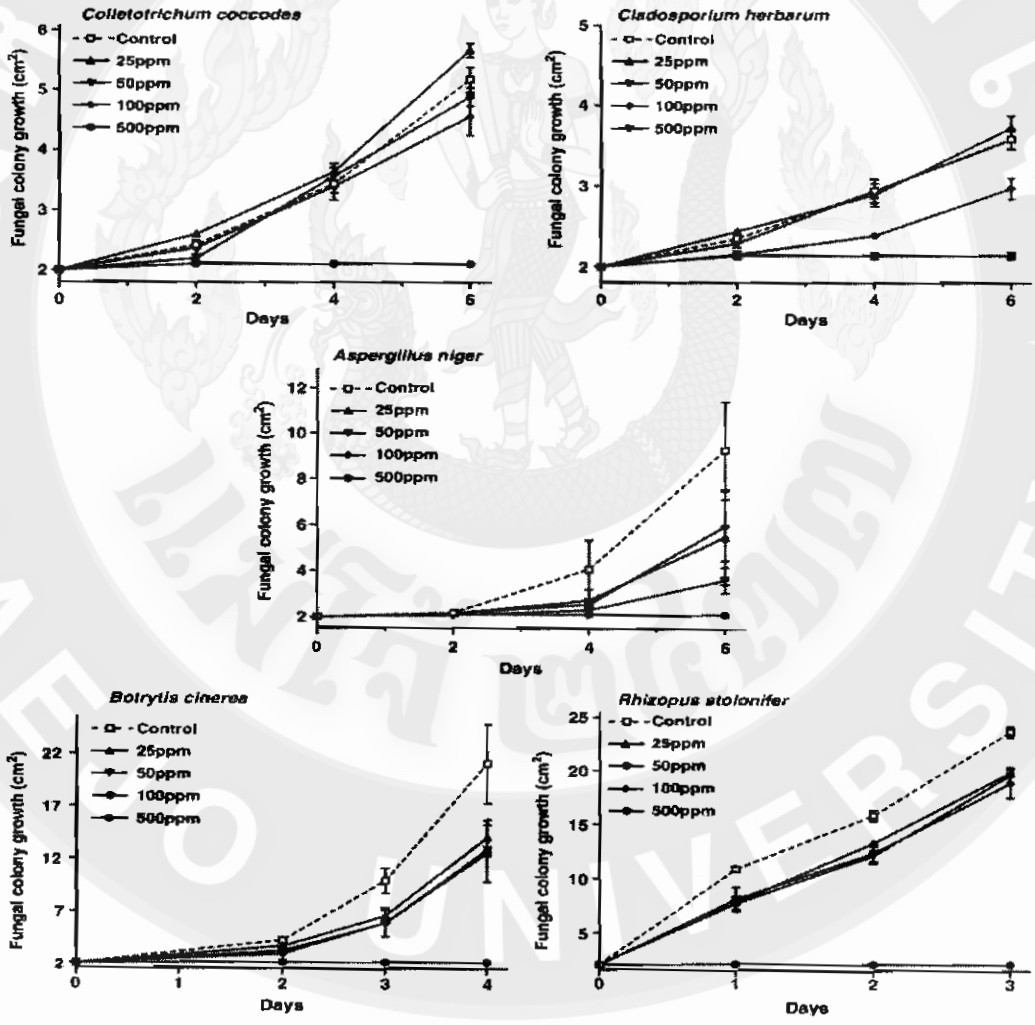
น้ำมันหอมระเหยยังใช้ในสุวคนธบำบัด ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจของนักธรรมชาติบำบัดอย่างมากในทุกวันนี้ ตัวอย่างของน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ได้แก่น้ำมันกระดังงา น้ำมันลาเวนเดอร์ น้ำมันคาโมมายล์ น้ำมันโหระพา น้ำมันแฝกหอมซึ่งช่วยให้สงบและผ่อนคลาย น้ำมันมะนาว น้ำมันยูคาลิปตัส น้ำมันเปปเปอร์มินต์ ทำให้รู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่า น้ำมันตะไคร้หอมใช้ไล่แมลง ตามท้องตลาดจะมีผลิตภัณฑ์กันยุงจากน้ำมันตะไคร้หอมทั้งในรูปครีม โลชัน น้ำมันตะไคร้ประกอบด้วยสารเบต้าไอโอโนนสูง ใช้เป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอได้

น้ำมันหอมระเหยเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอยู่เสมอ มีประโยชน์ใช้แต่งกลิ่นอาหารในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น ซุป ลูกกวาด เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม เช่น น้ำมันกุหลาบ น้ำมันกระดังงา และน้ำมันมะลิ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีการนำน้ำมันหอมระเหยไปใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น น้ำมันกานพลู สามารถฆ่าเชื้อโรคจึงนำมา ใช้ผสมในน้ำยาบ้วนปาก น้ำมันยูคาลิปตัสแก้หวัด น้ำมันไพลแก้อาการปวดบวม ฟกช้ำ น้ำมันเปปเปอร์มินต์ ใช้ขับลม และแต่งกลิ่นยา

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารธรรมชาติที่มีรายงานฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย รวมทั้งฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากสมุนไพรบางประเภท เช่น มะกรูด โหระพา กะเพรา ขิง ข่า และตะไคร้ เป็นต้น มาใช้เพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ โดยน้ำมันหอมระเหยมีกลไกการต้านจุลินทรีย์โดยสารประกอบฟีนอลิกสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับ

ตัว receptor ในเซลล์เมมเบรน โดยการทำปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกคือ การให้ H^+ และอาจส่งผลต่อส่วนของ ion pump จึงส่งผลให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ถูกทำลาย ของเหลวภายในเซลล์รั่วไหลออกมาภายนอก เซลล์บาดเจ็บและถูกทำลายไปในที่สุด (Apostolidis, Kwon และ Shetty, 2008)

Tzortzakis และ Economakis (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ โดยใช้น้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นระว่าง 25 ถึง 500 ppm แล้วทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา 5 สายพันธุ์ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการยับยั้งเชื้อรา

ที่มา Tzortzakis และ Economakis (2007)

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ความเข้มข้น 25 ppm สามารถลดจำนวนเชื้อราทั้ง 5 สายพันธุ์ ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้น้ำมันหอมระเหย โดยที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด คือ 500 ppm สามารถทำลายเชื้อราได้ทั้งหมด Tzortzakis และ Economakis (2007) จึงเสนอว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะใช้เป็นวัตถุกันเสียในผลิตภัณฑ์อาหารได้

นอกจากนั้น Gutierrez, Barry-Ryan และ Bourke (2008) เสนอว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยหลายชนิดร่วมกันน่าจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีจากการที่เสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน จึงได้ทดลองประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยจากพืช 7 ชนิด โดยตรวจสอบต่ออัตราการเจริญของ *Escherichia coli* ATCC 25922 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของน้ำมันหอมระเหยต่ออัตราการเจริญของ *Escherichia coli* ATCC 25922

น้ำมันหอมระเหย		อัตราการเจริญสูงสุด (ต่อชั่วโมง)
การใช้เพียงชนิดเดียว	ความเข้มข้น (ppm)	
ออริกาโน	300	0.367
โหระพา	10,000	0.452
สาระแหน่	20,000	0.401
กะเพรา	2,000	0.406
โรสแมรี่	10,000	0.480
เสจ	50,000	0.432
ไทม์	600	0.400
การใช้ร่วมกัน	อัตราส่วน	
ออริกาโน + โหระพา	1:2	0.452
ออริกาโน + โหระพา	1:4	0.449
ออริกาโน + สาระแหน่	1:2	0.312
ออริกาโน + สาระแหน่	1:4	0.407
ออริกาโน + กะเพรา	1:2	0.117
ออริกาโน + กะเพรา	1:4	0.404
ออริกาโน + โรสแมรี่	1:2	0.383
ออริกาโน + โรสแมรี่	1:4	0.420
ออริกาโน + เสจ	1:2	0.419

ตารางที่ 3 ผลของน้ำมันหอมระเหยต่ออัตราการเจริญของ *Escherichia coli* ATCC 25922 (ต่อ)

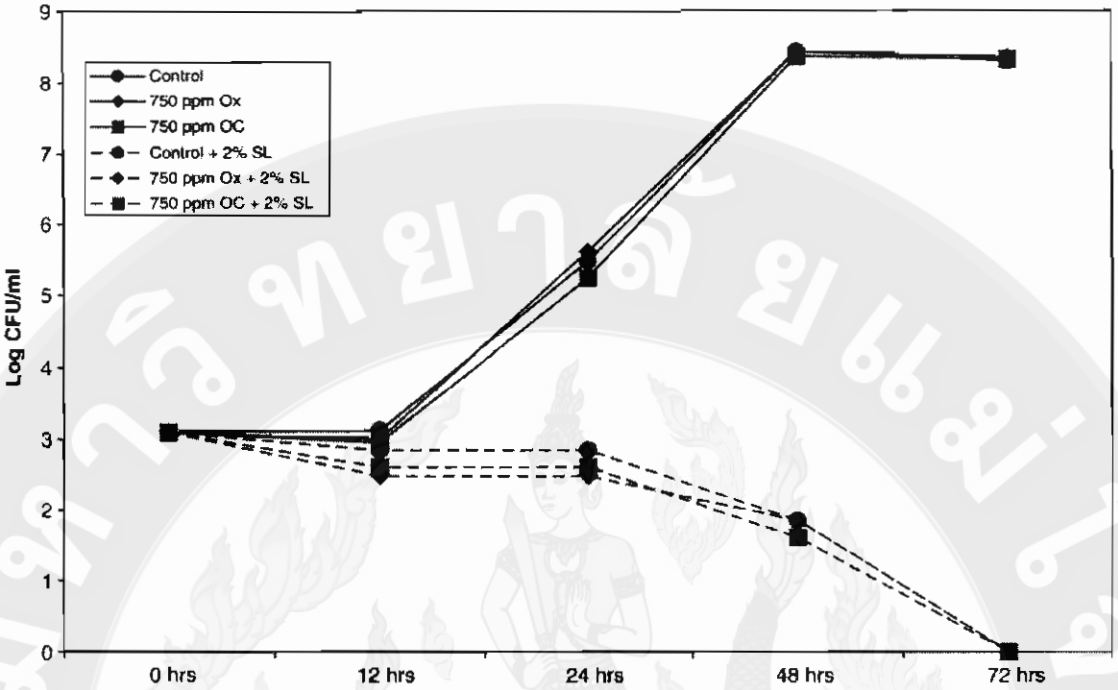
น้ำมันหอมระเหย	อัตราส่วน	อัตราการเจริญสูงสุด (ต่อชั่วโมง)
ออริกาโน + เสจ	1:4	0.425
ออริกาโน + ไทม์	1:2	0.376
ออริกาโน + ไทม์	1:4	0.395

ที่มา Gutierrez, Barry-Ryan **และ** Bourke (2008)

จากตารางแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยจากออริกาโนมีประสิทธิภาพในการชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด พิจารณาจากความเข้มข้นที่ใช้ต่ำสุดแต่อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์น้อยที่สุด ประสิทธิภาพรองลงมา คือ ไทม์ และเมื่อทดลองใช้น้ำมันหอมระเหย 2 ชนิดร่วมกัน พบว่า การใช้ออริกาโนร่วมกับสาระแหน่และกะเพราช่วยให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ดีขึ้น โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ น้ำมันหอมระเหยออริกาโนต่อน้ำมันหอมระเหยจากพืชชนิดอื่น เท่ากับ 1:2 อย่างไรก็ตาม Gutierrez, Barry-Ryan และ Bourke (2008) เสนอแนะว่าหากต้องการนำน้ำมันหอมระเหยจากพืชเหล่านี้ไปใช้เป็นวัตถุกันเสียในอาหาร จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของอาหารที่จะนำไปใช้ด้วย เพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปใช้

จากประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยซึ่งสกัดได้จากธรรมชาติ จึงมีการพยายามทดลองใช้เพื่อเป็นวัตถุกันเสียในอาหารเพื่อทดแทนการใช้วัตถุกันเสียจากการสังเคราะห์ โดยมีการทดลองใช้ทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชและสัตว์เป็นองค์ประกอบหลัก

Apostolidis, Kwon และ Shetty (2008) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากธรรมชาติ โดยใช้สารสกัดจากออริกาโน (oregano) ซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกพวก carvacrol และ thymol และเครนเบอรี่ (cranberry) ซึ่งมีสารจำพวก phenolic acid และ biphendic เช่น ellagic acid, flavonoids และ proanthocyanidins เป็นต้น โดยใช้ร่วมกับเกลือโซเดียมแลกเตท แล้วตรวจสอบความสามารถในการยับยั้ง *L. monocytogenes* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ pH 5.5 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 7



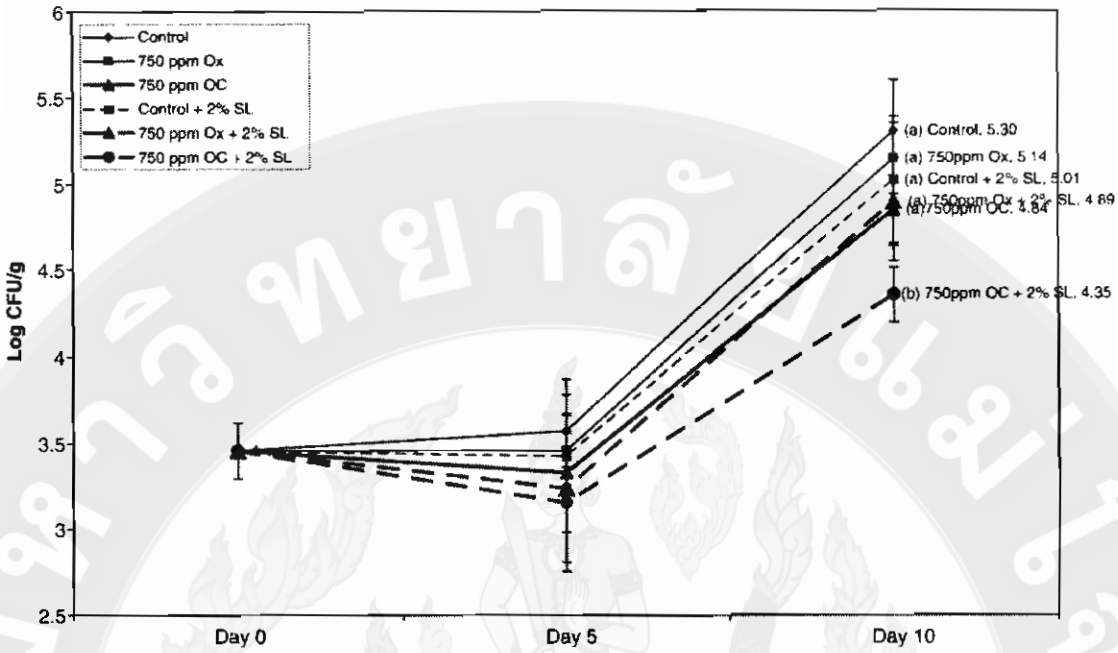
หมายเหตุ Ox หมายถึง การใช้สารสกัดจากออริกาโนเพียงอย่างเดียว OC หมายถึง การใช้สารสกัดจากออริกาโนและเครนเบอรี่ และ SL หมายถึง โซเดียมแลกเตท

ภาพที่ 7 ความสามารถของสารสกัดจากออริกาโน เครนเบอรี่ และโซเดียมแลกเตท ในการยับยั้ง *L. monocytogenes* ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ pH 5.5

ที่มา Apostolidis, Kwon และ Shetty (2008)

จากภาพที่ 7 สังเกตพบว่า การใช้สารสกัดจากออริกาโนร่วมกับสารสกัดจากเครนเบอรี่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *L. monocytogenes* ได้ดีที่สุด เนื่องจากการทำงานร่วมกันของสารสกัดจากออริกาโนและเครนเบอรี่ ซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกหลักคือ rosmarinic และ ellagic acid จึงทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์สูง แต่จากภาพที่ 7 สังเกตพบอีกว่า การใช้สารสกัดจากธรรมชาติร่วมกับโซเดียมแลกเตท ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้ง *L. monocytogenes* ดีขึ้น เนื่องจากเกลือส่งผลให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ โดยโซเดียมแลกเตทส่งผลให้สารละลายภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นสูงกว่าภายนอกเซลล์ ทำให้เซลล์สูญเสียน้ำออกสูภายในเซลล์เพื่อรักษาสมดุลของของเหลว จึงทำให้เซลล์ถูกทำลาย

ดังนั้น Apostolidis, Kwon และ Shetty (2008) จึงได้ทดลองใช้สารสกัดจากออริกาโนและเครนเบอรี่ในเนื้อวัวบด ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 8



หมายเหตุ Ox หมายถึง การใช้สารสกัดจากออริกาโนเพียงอย่างเดียว OC หมายถึง การใช้สารสกัดจากออริกาโนและเครนเบอรี่ และ SL หมายถึง โซเดียมแลกเตท

ภาพที่ 8 ความสามารถของสารสกัดจากออริกาโน เครนเบอรี่ และโซเดียมแลกเตท ในการยับยั้ง *L. monocytogenes* ในเนื้อวัวบด

ที่มา Apostolidis, Kwon และ Shetty (2008)

จากภาพที่ 8 พบว่าในระหว่างวันที่ 5-10 *L. monocytogenes* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารสกัดจากออริกาโนผสมสารสกัดจากเครนเบอรี่ร่วมกับการใช้เกลือโซเดียมแลกเตทสามารถชะลอการเจริญของเชื้อในระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยสังเกตพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน สามารถชะลอการเจริญของ *L . monocytogenes* ได้ประมาณ 2 Log CFU/g เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากธรรมชาติซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารได้

นวลจันทร์ และสุภาพร (2550) ทดลองศึกษาผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดต่อ *Bacillus cereus* ในข้าวหุงสุก โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันหอมระเหยจากเครื่องเทศทั้งหมด 12 ชนิด ได้แก่ กะเพรา ไพล พริกไทยดำ กานพลู ข่า ขิง ขมิ้นชัน ตะไคร้ ใบมะกรูด ผิวมะกรูด โหระพา และลูกผักชี แล้วประเมินค่าต่ำสุดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ (MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ (MBC) ด้วยวิธี microbroth dilution test ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *Bacillus cereus* (MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ (MBC) ด้วยวิธี microbroth dilution test

น้ำมันหอมระเหย	MIC/MBC (%v/v)	
	MIC	MBC
กะเพรา	>4	>4
กานพลู	>4	>4
ข่า	>4	>4
ขิง	>4	>4
ขมิ้นชัน	>4	>4
ตะไคร้	2	>4
ไพล	>4	>4
พริกไทยดำ	>4	>4
ใบมะกรูด	>4	>4
ผิวมะกรูด	2	2
โหระพา	>4	>4
ลูกผักชี	>4	>4
Chloramphenicol (μg/ml)	32	32

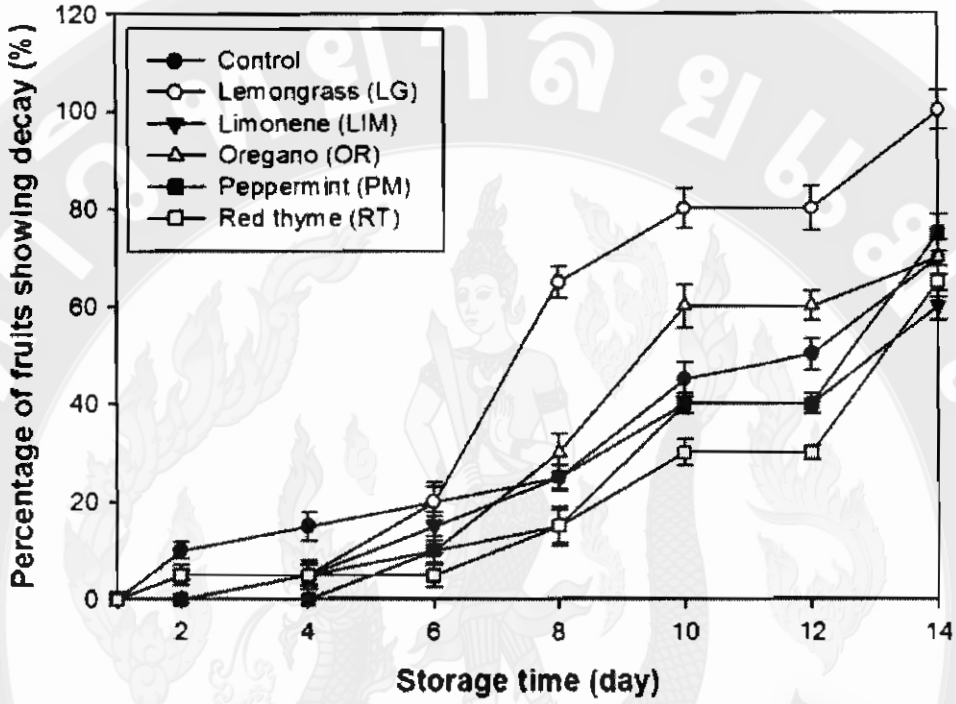
ที่มา นวลจันทร์ และสุภาพร (2550)

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าผิวมะกรูดสามารถออกฤทธิ์ต้าน *B. cereus* ได้ดีที่สุด โดยมีค่า MIC และ MBC 2 %v/v จึงเลือกใช้น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่ความเข้มข้น 4% v/w ผสมกับข้าวหุงสุก เพื่อยับยั้งการเจริญของ *B. cereus* เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ภายหลัง 5 วัน จำนวนเชื้อ *B. cereus* ในชุดควบคุมและชุดทดสอบแตกต่างกันมากกว่า 12 Log CFU/g และการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$ C จำนวนเชื้อในชุดควบคุมเจริญอย่างช้าๆ ภายหลังเวลา 15 วัน *B. cereus* ในชุดควบคุมและชุดทดสอบมีจำนวนใกล้เคียงกัน คือ 2.30 และ 2 Log CFU/g ตามลำดับ ดังนั้นน้ำมันจากผิวมะกรูดสามารถออกฤทธิ์ต้าน *B. cereus* ได้ดีทั้งที่อุณหภูมิห้องและ 4 $^{\circ}$ C

นอกจากนั้น Vu *et al.* (2011) ได้ทดลองใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืช 5 ชนิด ได้แก่ ตะไคร้หอม (Lemongrass, LG) เปลือกมะนาว (Limonene, LIM) ออริการโน (Oergano, OG) สาระแหน่ (Peppermint, PM) และ ไทม์แดง (Red thyme, RT) เพื่อชะลอการเน่าเสียเนื่องจาก

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เชื้อจุลินทรีย์ของสตรอเบอรี่ โดยนำน้ำมันหอมระเหยความเข้มข้น 0.02 % เคลือบผิวสตรอเบอรี่ แล้วตรวจสอบการเน่าเสียในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °C ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 9



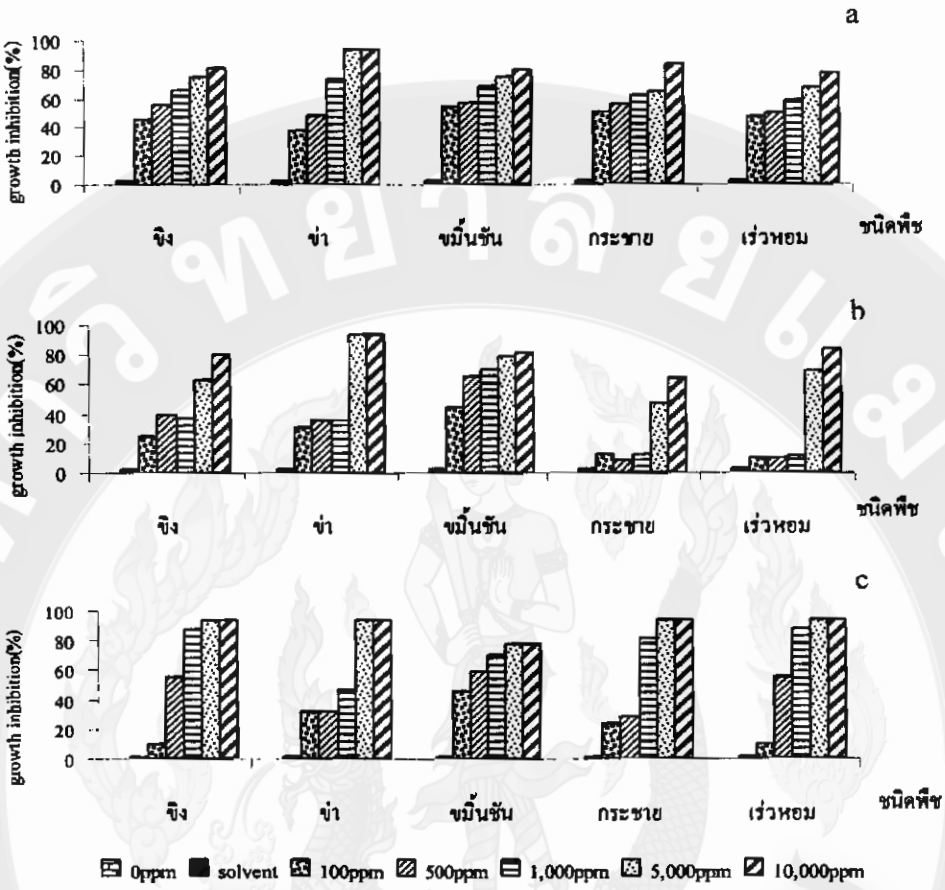
ภาพที่ 9 ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยเคลือบผิวสตรอเบอรี่ต่อการเน่าเสียในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °C

ที่มา Vu *et al.* (2011)

จากภาพที่ 9 พบว่าจากวันที่ 6-14 สตรอเบอรี่ที่เคลือบด้วยน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม (LG) และน้ำมันหอมระเหยจากออริกาโน (OR) มีการเน่าเสียสูงกว่าชุดควบคุม เนื่องจากสารทั้งสองชนิดนี้สามารถระเหยได้ง่ายกว่าสารชนิดอื่นๆ จึงไม่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อราซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ เช่น *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus stolonifer* ขณะที่สตรอเบอรี่ที่เคลือบด้วยน้ำมันหอมระเหยชนิดอื่นมีการเน่าเสียน้อยกว่าชุดควบคุมในระหว่างการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 points hedonic scale พบว่า สตรอเบอรี่ที่เคลือบด้วยน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาวและสาระแหน่เท่านั้นที่มีรสชาติและกลิ่นเป็นที่ยอมรับ แต่สตรอเบอรี่ที่เคลือบน้ำมันหอมระเหยจากไทม์ไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากไทม์มีกลิ่นฉุน ส่งผลให้กลิ่นรสของสตรอเบอรี่เปลี่ยนแปลงไป

บัณฑิต และคณะ (2550) ได้ศึกษาผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยจากพืชวงศ์ขิง 5 ชนิด ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Aspergillus flavus* โดยหอมระเหยจากพืชวงศ์ขิง 5 ชนิด (ขิง ข่า ขมิ้นชัน กระชาย และเร่วหอม) สกัดด้วย 2 วิธี คือ วิธีใช้ตัวทำละลายซึ่งใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอล (ethanol) ความเข้มข้น 95 % และ ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใย และสปอร์ของเชื้อรา *A. flavus* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่คัดแยกได้จากเมล็ดถั่วลิสง ด้วยวิธี agar dilution method ที่ความเข้มข้น 100, 500, 1,000, 5,000 และ 10,000 ppm เตรียม spore suspension ให้มีความเข้มข้นประมาณ 10^3 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ตรวจดูการงอกของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทุก 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการงอกของสปอร์จากชุดควบคุม จากการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชวงศ์ขิงทั้ง 5 ชนิดที่สกัดจากทั้งวิธีการใช้ตัวทำละลาย และวิธีต้มกลั่น สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยได้ และมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น แต่น้ำมันหอมระเหยจากข่าที่สกัดด้วยเอทานอลและปิโตรเลียมอีเทอร์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งดีที่สุด โดยที่ความเข้มข้น 5,000 และ 10,000 ppm มีการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเท่ากับ 94.12 % และ 94.13 % ตามลำดับ ไม่แตกต่างจากน้ำมันหอมระเหย ขิง ข่า กระชาย และเร่วหอม โดยวิธีต้มกลั่นที่ความเข้มข้น 5,000 และ 10,000 ppm มีการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเท่ากับ 94.17 %การที่น้ำมันหอมระเหยข่าที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล และปิโตรเลียมอีเทอร์ และวิธีต้มกลั่น มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใย และการงอกของสปอร์ได้ดีที่สุด เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยข่าสกัดโดยวิธีการต้มกลั่น มีสารประกอบหลักคือ methyl chavicol ในขณะที่สกัดด้วยตัวทำละลายพบ fraeseol เป็นสารประกอบหลัก นอกจากนั้นยังมี volatile compounds ที่สำคัญอีกหลายชนิดซึ่งสารเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสามารถออกฤทธิ์ต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตต่อเชื้อราได้ โดยมีผลต่อผนังเซลล์ของเชื้อรา จากผลการทดลองที่ความเข้มข้นเดียวกัน พืชชนิดเดียวกัน การสกัดสารด้วยวิธีต้มกลั่นสารสกัดที่ได้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ดีกว่าการสกัดแบบใช้ตัวทำละลาย แสดงว่าวิธีการต้มกลั่นเป็นวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหย สามารถสกัดองค์ประกอบต่างๆ และได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยตัวทำละลาย ผลการทดลองดังภาพที่ 10



หมายเหตุ a หมายถึง สารสกัดด้วยเอทานอล 95%, b หมายถึง สารสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ และ c หมายถึง สารสกัดจากการต้มกลั่น ที่ความเข้มข้น 5 ระดับ บ่มเชื้อ 7 วัน

ภาพที่ 10 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา *A. flavus* บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมสารสกัดพืชวงศ์ขิง

ที่มา บัณฑิต และคณะ (2550)

นอกจากน้ำมันหอมระเหยจะมีประโยชน์ในเชิงของการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์แล้ว ยังพบว่าน้ำมันหอมระเหยยังสามารถชะลอการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยแตกตัวให้ H^+ ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระส่งผลให้อนุมูลอิสระไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อได้ การเสื่อมเสียจากการหืนจึงลดลง Mielnik *et al.* (2008) ได้ทดลองใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนผสมในน้ำมาริเนดสำหรับไก่งวง โดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืช 3 ชนิด ได้แก่ โรสแมรี่ เสจ และไทม์ แล้วตรวจสอบการหืนของไก่งวง โดยวัดค่า TBARS ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนผสมในน้ำมาริเนดต่อค่า TBARS (มิลลิกรัมของมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมเนื้อสัตว์) ในเนื้อไก่งวงระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °C

มาริเนด	ไก่งวงดิบ	ไก่งวงมาริเนด	ไก่งวงมาริเนดปรุงสุกที่ระยะการเก็บรักษาต่างๆ (วัน)				
			0	1	3	5	7
ชุดควบคุม	0.15	1.91 ^{a}	7.38 ^{a,x}	7.32 ^{a,x}	7.69 ^{a,yx}	8.28 ^{a,zy}	8.45 ^{a,z}
โรสแมรี่	0.15	0.14 ^{b}	0.12 ^{c,v}	0.39 ^{d,w}	0.82 ^{d,x}	1.45 ^{d,y}	2.33 ^{d,z}
เสจ	0.15	0.12 ^{b}	0.63 ^{b,v}	0.75 ^{b,w}	2.40 ^{b,x}	2.55 ^{b,y}	3.87 ^{b,z}
ไทม์	0.15	0.14 ^{b}	0.09 ^{c,v}	0.66 ^{c,w}	1.50 ^{c,x}	1.77 ^{c,y}	3.35 ^{c,z}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วย a-d และ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วย v-z ที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ที่มา Mielnik *et al.* (2008)

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 °C ไก่งวงชุดควบคุมซึ่งไม่ผ่านการมาริเนดด้วยน้ำมาริเนดที่มีน้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนผสม การหืนเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพิจารณาจากค่า TBARS ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า TBARS เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกการเกิดมาลอนอัลดีไฮด์ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบเพอร์ออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นิธิยา, 2545) แต่การใช้น้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนผสมในการมาริเนดส่งผลให้ไก่งวงเสื่อมเสียจากการหืนช้าลง พบว่าน้ำมาริเนดที่ผสมโรสแมรี่ชะลอการหืนได้ดีที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามน้ำมันหอมระเหยสามารถระเหยได้ง่าย จากการทดลองใช้เพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในผักหรือผลไม้สด เช่น โดยการวิธีการพ่นหรือการเคลือบ อาจส่งให้ประสิทธิภาพลดลงได้ระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเกิดการสูญเสียสู่บรรยากาศได้ง่าย จึงมีการทดลองใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เจลล้างมือ และน้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น

สายัณห์ และพรพีรา (2544) ทดลองพัฒนาเจลล้างมือจากน้ำมันตะไคร้ เพื่อให้ได้สูตรที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย มีความคงตัว และเป็นที่พึงพอใจของผู้ใช้ เนื่องจากเจลล้างมือที่จำหน่ายตามท้องตลาดที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อนั้น มักมีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ในปริมาณที่สูง ซึ่งมีข้อด้อย คือทำให้ผิวบริเวณที่สัมผัสแห้ง ในบางคนอาจเกิดอาการแพ้แอลกอฮอล์เป็นผื่นในลักษณะต่างๆ หรืออาจทำให้ผิวลอกแสบได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ล้างมือจากสมุนไพรซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผลิตภัณฑ์ล้างมือ

โดยทดลองคัดเลือกสารก่อเจลที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัว พบว่าสารก่อเจลที่เหมาะสมได้แก่ carbopol 940, carbopol 941, synthalen K, keltrol TF และ HEC แต่เมื่อทำการทดลองสูตรเจลล้างมือซึ่งประกอบด้วยน้ำมันตะไคร้แล้วพบว่า สูตรที่ใช้ carbopol 940 เป็นสารก่อเจล ทำให้ได้เจลที่มีคุณสมบัติที่ต้องการ จึงปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ โดยใช้น้ำมันตะไคร้ 1, 2 และ 5% ของสูตร แล้วนำไปทดสอบทางจุลชีววิทยาเพื่อศึกษาผลในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้วิธี disc diffusion, hand washing และ challenge test แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบคือ *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311 และ *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 ผลการทดลองพบว่าสูตรที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดคือตำรับที่มีความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ 5 % (w/w) โดยมีผลยับยั้งเชื้อที่นำมาทดสอบได้ทุกสายพันธุ์ ยกเว้น *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีการดำเนินงานตามขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นเตรียมการ

ขั้นตอนการเตรียมการ ผู้ศึกษาได้เตรียมการในการเก็บรวบรวมข้อมูล และศึกษาค้นคว้าดังต่อไปนี้

1.1 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยจะทำการศึกษาและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวกับความรู้พื้นฐานของน้ำมันหอมด้านพืชที่เป็นแหล่งน้ำมัน วิธีการสกัดและคุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหย เพื่อใช้เป็นเอกสารหลักในการศึกษาและเป็นแนวทางในการทดลองต่อไป

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1.2.1 วัตถุดิบ ประกอบด้วย พืชน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ ขิง ข่า ตะไคร้

1.2.2 วัสดุ อุปกรณ์ ประกอบด้วย กรวยแยกของเหลว แท่งแก้วคนสาร บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร และขวดสีชาสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำมันหอมระเหย

1.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย (เครื่องต้นแบบจาก สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer Model RV) และเตาให้ความร้อน (hot plate)

1.2.4 สารเคมี ประกอบด้วย ชุดตรวจสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ซึ่งผลิตโดยกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 2 ชุด ได้แก่ ชุดตรวจสอบ coliform bacteria (อ 13) และ *Staphylococcus aureus* (อ 14) และชุดผลิตเจลล้างมือชนิดไม่ล้างน้ำ (บริษัท ยูเนี่ยนซายน์ จำกัด)

2. ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการคัดเลือกพืชสำหรับกลั่นน้ำมันหอมระเหย

ขั้นตอนการคัดเลือกพืชสำหรับกลั่นน้ำมันหอมระเหย วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

2.1.1 สำรวจพืชน้ำมันหอมระเหยที่มีอยู่ในท้องถิ่นจังหวัดแพร่

2.1.2 นำพืชจากการสำรวจข้างต้น ไปกลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (เครื่องต้นแบบจากสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1) ตะไคร้ส่วนใบ หั่นให้มีความยาวประมาณ 1.5-2 นิ้ว

2) ตะไคร้ส่วนต้น หั่นสไลด์ให้มีความหนา ประมาณ 2 มิลลิเมตร และความยาว ประมาณ 1.5-2 นิ้ว

3) พืชวงศ์ขิง ฝานให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

2.1.3 นำน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้เก็บใส่ขวดสีชาเพื่อตรวจสอบปริมาณผลผลิตที่ได้และลักษณะปรากฏภายนอก ดังนี้

1) ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% yield) คำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ (\%v/w)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร)} \times 100}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบ (กรัม)}}$$

2) ลักษณะปรากฏภายนอก ได้แก่ สี ความข่น โดยการสังเกต

2.1.4 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ F-test แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แล้วเลือกพืชน้ำมันที่มีลักษณะดีที่สุดหนึ่งชนิดไปใช้ศึกษาต่อเพื่อเป็นพืชต้นแบบสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพจากพืชท้องถิ่น

2.2 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

การกลั่นน้ำมันหอมระเหยสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ ซึ่งพัฒนาเครื่องโดยศึกษาจากเครื่องต้นแบบ โดยรวบรวมข้อมูลเพื่อออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องดังนี้

2.2.1 ถังกลั่น (retort tank)

2.2.2 ฝาของถังกลั่น (retort cover)

2.2.3 ท่อไอน้ำ (vapor conduct tube)

2.2.4 หม้อต้มไอน้ำ (steam condenser)

2.2.5 อุปกรณ์ควบแน่น (condenser)

นำเครื่องที่ผ่านการพัฒนาแล้วไปตรวจสอบประสิทธิภาพในการกลั่นโดยบันทึกปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้และระยะเวลาที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

จากนั้นนำเครื่องที่พัฒนาแล้วไปใช้เพื่อกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืชท้องถิ่นที่ได้ทำการคัดเลือกข้างต้นเพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพต่อไป

2.3 ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพ

นำน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพ โดยงานวิจัยครั้งนี้ พิจารณาเลือกพัฒนาเป็นเจลล้างมือชนิดไม่ล้างน้ำ

2.3.1 การศึกษาปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมสำหรับผลิตเจลล้างมือ

การศึกษาขั้นตอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1) เตรียมเจลล้างมือโดยใช้ชุดผลิตเจลล้างมือสำเร็จรูป โดยมีส่วนผสมดังนี้

1.1) Carbopol 940 (สารก่อเจล)	5 กรัม
1.2) Sanisol RC (สารฆ่าเชื้อ)	5 กรัม
1.3) แอลกอฮอล์	1,100 มิลลิลิตร
1.4) triethanolamine 99%	25 มิลลิลิตร
1.5) น้ำสะอาด	600 มิลลิลิตร

โดยการทดลองขั้นตอนนี้เตรียมเจลให้มีปริมาณสารก่อเจลต่อสูตรที่ต่างกันดังนี้ 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 กรัม

2) เตรียมเจลล้างมือตามขั้นตอนดังนี้

2.1) นำ Carbopol 940 ผสมกับ น้ำสะอาด คนให้ละลาย

2.2) นำสารฆ่าเชื้อ และ แอลกอฮอล์ ผสมลงในส่วนผสมข้างต้น

2.3) คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.4) ค่อยๆ ปรับ เจลให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย triethanolamine 99%

3) นำเจลที่ได้ไปตรวจสอบลักษณะต่างๆ ดังนี้

3.1) ความหนืด (เครื่องวัดความหนืด; Brookfield viscometer Model RV)

3.2) ลักษณะปรากฏจากการสังเกต

3.3) ลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเรียงลำดับความชอบ (preference ranking) ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน การทดสอบนี้จะให้ผู้ทดสอบเรียงลำดับความชอบ โดยเรียงจากชอบมากไปหาชอบน้อย

4) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ผลดังนี้

4.1) ความหนืด นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ F-test แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.2) ลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเรียงลำดับความชอบ (preference ranking) ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Friedman's test แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD_{rank} ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

แล้วเลือกปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมเพื่อนำไปศึกษาขั้นตอนต่อไป

2.3.2 การศึกษาระดับน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมต่อการผลิตเจลล้างมือ

การศึกษาขั้นตอนนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design: CRD) โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1) เตรียมเจลล้างมือจากชุดผลิตเจลล้างมือสำเร็จรูปดังขั้นตอนข้างต้น โดยเลือกระดับสารก่อเจลที่เหมาะสมจากขั้นตอนข้างต้น แต่แทนที่สารฆ่าเชื้อด้วยน้ำมันหอมระเหยที่ระดับ 1, 3, และ 5 % เปรียบเทียบเจลที่ได้กับเจลล้างมือที่ใช้สารฆ่าเชื้อตามสูตรจากเจลสำเร็จรูปและเจลล้างมือที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อ

2) ตรวจสอบลักษณะต่างๆ ดังนี้

2.1) ความหนืด (เครื่องวัดความหนืด; Brookfield viscometer Model RV)

2.2) ลักษณะปรากฏจากการสังเกต

2.3) ลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเรียงลำดับความชอบ (preference ranking) ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน

2.4) ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยให้ผู้ทดสอบล้างมือด้วยเจลดังทรีตเมนต์ข้างต้น แล้วตรวจสอบ coliform bacteria และ *Staphylococcus aureus* ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบดังภาคผนวก

3) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล ดังการทดลองข้างต้นเพื่อเลือกระดับของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตเจลล้างมือ

3. สถานที่ดำเนินการทดลอง

อาคารโรงงานนำร่องอุตสาหกรรมเกษตรและอาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

1. ผลการคัดเลือกพืชสำหรับกลั่นน้ำมันหอมระเหย

จากการสำรวจพืชสมุนไพรที่เพาะปลูกมากในจังหวัดแพร่ ได้แก่ ตะไคร้บ้าน ขิง และข่า จึงได้นำพืชทั้ง 3 ชนิด ไปทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยใช้เครื่องต้นแบบ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ลักษณะของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นโดยวิธีกลั่นด้วยไอน้ำ

พืชน้ำมันหอมระเหย	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%v/w)	ลักษณะน้ำมันหอมระเหย
ตะไคร้ส่วนใบ	$0.52^{a} \pm 0.08$	
ตะไคร้ส่วนต้น	$0.17^{b} \pm 0.04$	
ตะไคร้ทั้งต้นและใบ	$0.32^{c} \pm 0.04$	
ขิง	0.00^{d}	ไม่สามารถกลั่นได้
ข่า	0.00^{d}	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษร a-d ที่ต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากการทดลองพบว่า พืชที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดและแต่ละส่วนของพืช ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพืชที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดคือ ตะไคร้ โดยตะไคร้ส่วนใบสามารถให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุดถึง 0.52 % ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของสุรัตน์วดี (2552) ได้ทดลองกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ และพบว่า ใบตะไคร้ ทั้งตะไคร้หอมและตะไคร้บ้านให้น้ำมันหอมระเหย 0.60% และจากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าส่วนของต้นตะไคร้ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยน้อยกว่าส่วนของใบตะไคร้ โดยให้น้ำมันหอมระเหยได้เพียง 0.17 % ดังนั้นเมื่อกลั่นน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ตะไคร้ทั้งต้นจึงได้น้ำมันหอมระเหยเพียง 0.32 % ซึ่งปริมาณน้ำมัน

หอมระเหยที่กลั่นได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการกลั่นจากใบเพียงอย่างเดียว แต่พืชวงศ์ขิง 2 ชนิด คือ ขิงและข่า น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเหนียวหนืดคล้ายกาว ไม่สามารแยกออกจากรวยแยกได้ จึงไม่สามารถกลั่นเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ ซึ่งจากการทดลองของสุรัตน์วดี (2552) ก็สามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากขิงได้เพียง 0.20 % เท่านั้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเนื้อเยื่อของพืชที่นำมากลั่น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างใบและต้นตะไคร้ พบว่า ส่วนของใบมีเนื้อเยื่อที่บางกว่าส่วนของต้น จึงสามารถกลั่นเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ง่ายกว่า เมื่อพิจารณาเนื้อเยื่อของขิงและข่าซึ่งมีเนื้อเยื่อที่แน่นและแข็งแรงกว่าตะไคร้ จึงไม่สามารถกลั่นน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cassel *et al.* (2009) โดยได้ทดลองสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืช 3 ชนิด คือ โรสแมรี่ โหระพา และลาเวนเดอร์ และพบว่า โรสแมรี่ให้น้ำมันหอมระเหยสูงสุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากโรสแมรี่มีใบที่บางกว่าพืชอีก 2 ชนิด จึงส่งผลให้โรสแมรี่มีเนื้อเยื่อบางกว่า จึงสกัดน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ง่าย จึงกล่าวได้ว่าความหนาของเนื้อเยื่อพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่ได้

อย่างไรก็ตามแม้จะทำให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรงลดลงด้วยวิธีการปั่นพืชที่จะนำไปกลั่น แต่ธีรศิลป์ และคณะ (2550) รายงานว่า เมื่อนำขิงมาปั่นทำให้เซลล์แตกและทำให้สารที่อยู่ในเซลล์ขิงสลายตัวส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ของน้ำมันหอมระเหยลดลง จึงได้ทดลองเปรียบเทียบการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากขิงด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำและการต้มกลั่น พบว่าผลได้ของน้ำมันหอมระเหยจากวิธีต้มกลั่นมากกว่าการสกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เนื่องมาจากการต้มกลั่นเป็นการที่น้ำร้อนให้ความร้อนโดยตรงต่ออนุภาคขิง แต่การกลั่นด้วยไอน้ำ ไอน้ำจากน้ำเดือดถูกผ่านไปยัง เนื้อเยื่อขิงและให้ความร้อนแก่เนื้อขิง ในการทดลองไอน้ำอาจไม่สัมผัสกับขิงได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดีเท่าวิธีการต้มกลั่น

นอกจากปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากตะไคร้จะมีปริมาณสูงสุดแล้ว น้ำมันหอมระเหยที่ได้ยังมีลักษณะที่ดี มีสีเหลืองใส และไม่ขุ่น ซึ่งพิทยา (2551) รายงานว่า โดยปกติน้ำมันหอมระเหยมักจะมีสีเหลืองอ่อนใส จนถึงสีน้ำตาล-เขียวเข้ม ขึ้นกับชนิดของเนื้อเยื่อพืชที่นำมาใช้ และขึ้นกับกระบวนการในการแยกน้ำมันหอมระเหย ในการกลั่นจะได้น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์สีเหลืองอ่อน-ใส ในการแยกโดยการใช้สารละลายอินทรีย์สกัดส่วนของใบจะได้น้ำมันหอมระเหยสีเหลืองอมเขียว ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการทดลองครั้งนี้จึงมีสีเหลืองใสแม้ว่ารงควัตถุในใบตะไคร้จะเป็นคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีเขียวก็ตาม ดังนั้นพืชที่ควรนำไปเพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไปคือ ตะไคร้ โดยควรใช้เฉพาะส่วนใบเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปส่วนของใบตะไคร้บ้านเป็นส่วนที่เหลืองทิ้งจากการใช้ประโยชน์ในส่วนของต้นซึ่งนิยมนำไปเป็นส่วนประกอบของอาหาร

2. ผลการออกแบบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย

พืชที่ได้คัดเลือกเพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อไปคือ ตะไคร้บ้าน ดังนั้น การกลั่นที่เหมาะสมคือ การกลั่นด้วยไอน้ำ เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชที่มีความบอบบาง ไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีการต้มกลั่น ซึ่งอาจทำให้มีโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยเปลี่ยนไปหรือบางครั้งมีกลิ่นปลอมปนเข้ามาด้วย เช่น กลิ่นผักนึ่ง ทำให้คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยต่ำลง ดังนั้นเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ทำการออกแบบจึงเป็นแบบการกลั่นด้วยไอน้ำ เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยขนาดเล็กนี้ เป็นเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็ก เนื่องจากเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยในระบบอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมักจะมีขนาดใหญ่ ยากต่อการติดตั้ง หรือขนย้าย และมีราคาแพง ส่วนชุดเครื่องกลั่นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักจะมีส่วนประกอบที่เป็นแก้วซึ่งชำรุดเสียหายได้ง่าย ไม่เหมาะกับการใช้งานในลักษณะของอุตสาหกรรมในครัวเรือนหรือโดยกลุ่มเกษตรกร

2.1 ลักษณะของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย

เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยนี้ใช้กลั่นเพื่อสกัดแยกเอาน้ำมันชนิดน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) ไม่ใช่น้ำมันพืชทั่วไป (fixed oil) จากส่วนที่มีน้ำมันหอมระเหยสะสมอยู่ของพืช ออกแบบให้เป็นถังกลั่นชนิดเบ็ดเสร็จถังเดียวขนาดเล็กโดยใช้ระบบการกลั่นด้วยไอน้ำ มีระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยมีส่วนที่ทำการควบแน่น (condenser) แยกต่างหาก สามารถประกอบ หรือถอดชิ้นส่วนออกได้ง่าย และขนย้ายได้สะดวก ทำจากเหล็กปลอดสนิมชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (stainless steel, food grade) มีส่วนประกอบทั้งหมด 5 ส่วน คือ ถังกลั่น (retort tank) ฝาของถังกลั่น (retort cover) ท่อนำไอน้ำ (vapor conduct tube) หม้อต้มไอน้ำ (steam generator) และตัวควบแน่น (condenser) โดยวิธีในการทำจะเป็นการนำส่วนประกอบทั้ง 4 ประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งเมื่อประกอบกันแล้วจะมีขนาดของเครื่องกว้าง × ยาว× สูง ประมาณ 0.45×0.70×1.70 เมตร โดยส่วนประกอบแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ถังกลั่น (retort tank) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในเป็น 36 และ 29 เซนติเมตร ตามลำดับ มีตะแกรงสำหรับบรรจุชิ้นส่วนของพืชที่อยู่ภายใน โดยส่วนที่บรรจุพืชมีปริมาตรเป็น 5 เท่า ของส่วนที่บรรจุน้ำ ตะแกรงสามารถยกเข้าออกได้โดยวางอยู่บนเขี้ยวหรือขอบที่ยื่นออกมาจากตัวถังด้านใน ที่ก้นถังส่วนที่อยู่ต่ำสุดมีช่องเพื่อนำไอน้ำเข้าภายในถังกลั่นและระบายน้ำทิ้ง โดยมีท่อระบายเชื่อมต่อไประบายออกทางด้านข้างส่วนล่างของถังและวาล์วสำหรับปิด-เปิดน้ำ ดังภาพที่ 11

ภาพที่ 11 ลักษณะถังกลั่นและตะแกรงใส่วัตถุดิบ

2) ฝาของถังกลั่น (retort cover) มีลักษณะเป็นทรงโดมเตี้ย ด้านล่างมีขอบยื่นออกมาเพื่อรับกับตัวถังกลั่นด้านล่างของขอบฝาอัดด้วยแผ่นยางซิลิโคนทนความร้อน เพื่อทำให้ฝาและถังกลั่นประกบกันได้แน่นป้องกันการรั่วไหลของไอน้ำ ขอบฝามีช่องสำหรับให้ตัวยึดแบบเกลียวจากถังกลั่นผ่านเพื่อยึดตัวถังกลั่นและฝาเข้าด้วยกัน โดยด้านบนตรงกลางของฝาถังเปิดเป็นช่องระบายไอน้ำขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร และสามารถเชื่อมต่อกับท่อไอน้ำด้วยเกลียววงแหวน ส่วนบนของวาล์วมีร่องสำหรับใส่แผ่นยางวงแหวน (o-ring) ที่ทำจากยางซิลิโคนทนความร้อนเพื่อทำให้ฝาและท่อนำไอน้ำประกบกันได้แน่นสนิทป้องกันการรั่วไหลของไอน้ำ แสดงดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 ลักษณะฝาของถังกลั่น

3) ท่อนำไอน้ำ (vapor conduct tube) เป็นท่อสแตนเลส เชื่อมต่อจุดที่โค้งงอด้วยข้อต่อ มีฉนวนกันความร้อนหุ้มเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียสู่ภายนอก ผิวของขอบทั้งสองข้างเรียบเพื่อรับกับแผ่นยางวงแหวนของส่วนวาล์วปิดเปิดของฝาถังกลั่น ปลายท่อทั้งสองข้างสามารถเชื่อมต่อกับฝาถังกลั่นและอุปกรณ์ควบแน่นด้วยเกลียววงแหวน ดังภาพที่ 13

ภาพที่ 13 ลักษณะท่อนำไอน้ำ

4) หม้อต้มไอน้ำ (steam generator) เป็นระบบการทำน้ำร้อนเพื่อให้เกิดไอน้ำเร็วขึ้น ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า "ระบบผลิตไอน้ำด้วยเทคนิคปั๊มฟอง" โดยเทคนิคนี้จะช่วยให้น้ำเดือดกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการกลั่นเริ่มต้นเร็วกว่าปกติ และในระบบมีโซลินอยวาล์วช่วยดึงน้ำเข้ามาในหม้อต้มไอน้ำและมีระบบระบายน้ำเมื่อหยุดการทำงานของเครื่องกลั่น ดังภาพที่ 14

ภาพที่ 14 ลักษณะหม้อต้มไอน้ำ

5) อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) เป็นรูปทรงกระบอกกลวงปิดภายในบรรจุท่อนำไอน้ำที่ขดเป็นเกลียวเพื่อทำให้ไอน้ำไหลเวียนอยู่ในตัวควบแน่นได้นานขึ้น ส่วนปลายทั้งสองด้านของ

ท่อนำไอน้ำยื่นพ้นออกจากปลายปิดของทรงกระบอกกลวงโดยที่ปลายข้างหนึ่งทำเป็นเกลียวสำหรับเชื่อมต่อกับเกลียววงแหวนของท่อนำไอน้ำ ด้านบนมีร่องสำหรับใส่แผ่นยางวงแหวน (o-ring) ที่ทำจากยางซิลิโคนทนความร้อน เพื่อทำให้ตัวควบแน่นและท่อนำไอน้ำประกบกันได้แน่น ป้องกันการรั่วไหลของไอน้ำ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเปิดไว้เพื่อให้ไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นตัวเป็นของเหลวไหลผ่านสู่ภาชนะรองรับ ด้านข้างของทรงกระบอกกลวงทั้งด้านบนและด้านล่างเจาะให้มีท่อสำหรับต่อเข้ากับระบบน้ำหล่อเย็น โดยให้น้ำไหลเข้าทางด้านล่างและไหลออกจากด้านบนดังภาพที่ 15

ภาพที่ 15 ลักษณะอุปกรณ์ควบแน่น

2.2 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องกลั่น

จากการนำเครื่องกลั่นที่ทำการพัฒนามาตรวจสอบประสิทธิภาพ พบว่าเครื่องกลั่นมีประสิทธิภาพในการทำงานแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการตรวจสอบการทำงานของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย

เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ	ผลการตรวจสอบ
ระยะเวลาที่ใช้ในการกลั่น (นาที)	113.33±17.56
ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (%)	0.46±0.08

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้มีค่าเท่ากับ 0.46 %ซึ่งใกล้เคียงกับการกลั่นโดยใช้เครื่องต้นแบบที่กลั่นได้ 0.52 % โดยใช้ระยะเวลาในการกลั่นประมาณ

113 นาที และจากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าตะแกรงใส่วัตถุดิบที่ทำการออกแบบจะมีลักษณะเป็นชั้นๆ ซึ่งมีข้อดีที่ช่วยให้วัตถุดิบไม่อัดแน่นเกินไป จะทำให้ไอน้ำเคลื่อนที่ช้ามากจนเกิดปัญหาความร้อนสะสมภายในวัตถุดิบที่อยู่ในภาชนะทำให้เกิดปัญหาด้านกลิ่นและสีได้ แต่อย่างไรก็ตาม พิทยา (2551) ได้รายงานว่าการกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการนี้ ความแน่นในการบรรจุเนื้อเยื่อพืชที่จะกลั่นลงในภาชนะบรรจุเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยทั่วไปมักบรรจุค่อนข้างแน่น เพื่อให้ไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเยื่อพืชไปอย่างช้าๆ จะทำให้ประหยัดพลังงาน ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยออกมามากในเวลาค่อนข้างเร็ว ดังนั้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกลั่นได้ดียิ่งขึ้น ควรปรับปรุงตะแกรงใส่วัตถุดิบให้มีลักษณะของตะกร้าทรงกระบอก ซึ่งอาจทำให้ความแน่นของวัตถุดิบคือใบตะไคร้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้มีปริมาณสูงขึ้น หากต้องปรับใช้กับพืชหลายชนิดที่อาจมีความหนาแน่นของเนื้อเยื่อมากกว่าใบตะไคร้ ตะแกรงใส่วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นชั้นก็น่าจะเหมาะสมกว่า ดังนั้นตะแกรงใส่วัตถุดิบควรออกแบบมาทั้ง 2 ชนิด เพื่อเพิ่มโอกาสในการเลือกใช้

3. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพ

3.1 ผลการศึกษาปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมสำหรับผลิตเจลล้างมือ

จากการเตรียมเจลล้างมือโดยใช้ชุดผลิตเจลล้างมือสำเร็จรูป (บริษัท ยูเนี่ยนซายน์ จำกัด) โดยเตรียมเจลให้มีปริมาณสารก่อเจลต่อสูตรที่แตกต่างกันดังนี้ 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 กรัม แล้วนำไปตรวจสอบคุณภาพ เพื่อคัดเลือกระดับสารก่อเจล ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลของปริมาณสารก่อเจลต่อความหนืดของเจลล้างมือ

ปริมาณสารก่อเจล (กรัม)	ความหนืด (cPs)
3.0	1,233.33 ^{e} ± 125.83
3.5	1,883.33 ^{d} ± 125.83
4.0	2,416.67 ^{c} ± 175.59
4.5	2,883.33 ^{b} ± 125.83
5.0	3,233.33 ^{a} ± 125.83

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษร a-e ที่ต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารก่อเจลส่งผลให้เจลล้างมือที่ได้มีความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อปริมาณสารก่อเจลเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเจลที่เติมสารก่อเจล 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 กรัม มีความหนืดเท่ากับ 1,233.33, 1,883.33, 2,416.67, 2,883.33 และ 3,233.33 cPs ตามลำดับ และเจลล้างมือที่ได้มีลักษณะปรากฏดังภาพที่ 16

ก ข ค ง จ

หมายเหตุ ก ข ค ง จ หมายถึง ปริมาณสารก่อเจล 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 กรัม ตามลำดับ

ภาพที่ 16 ผลของปริมาณสารก่อเจลต่อลักษณะปรากฏของเจล

จากภาพที่ 16 แสดงให้เห็นว่าภาพ ก และ ข ซึ่งใช้สารก่อเจลเพียง 3 และ 3.5 กรัม ตามลำดับ เจลที่ได้ค่อนข้างใส มีลักษณะที่เหลว ไม่ข้นหนืด ไม่เป็นเจลที่ดี เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 4 กรัม เจลที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีลักษณะที่ดีคือได้เจลที่มีความใส เนื้อเจลค่อนข้างเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณปริมาณสารก่อเจลเป็น 4.5 กรัม เจลมีลักษณะข้นหนืดที่ดีแต่กลับพบว่าเจลที่ได้ค่อนข้างขุ่นและมีฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากกระจายตัวอยู่ในเนื้อเจล ขณะที่การเติมสารก่อเจลที่ 5 กรัม เจลที่ได้มีลักษณะข้นหนืดสูงมากและเริ่มเกาะตัวกันเป็นก้อนแข็งไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อนำไปทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี การเรียงลำดับความชอบ (preference ranking) จากผู้ทดสอบจำนวน 20 คน การทดสอบนี้จะให้ผู้ทดสอบเรียงลำดับความชอบ โดยเรียงจากชอบมากไปหาชอบน้อย ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของปริมาณสารก่อเจลต่อความชอบของผู้ทดสอบ

ปริมาณสารก่อเจล (กรัม)	ผลการประเมินความชอบโดยวิธีการเรียงลำดับ
3.0	88 [c]
3.5	47 [b]
4.0	28 [a]
4.5	45 [b]
5.0	92 [c]

หมายเหตุ ค่าในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษร a-c ที่ต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารก่อเจลส่งผลต่อความชอบของผู้ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเจลล้างมือที่ผู้ทดสอบรู้สึกชอบมากที่สุด คือเจลล้างมือที่เติมปริมาณสารก่อเจล 4 กรัม รองลงมาคือ เจลล้างมือที่เติมสารก่อเจล 4.5 และ 3.5 กรัม โดยเจลล้างมือที่เติมสารก่อเจล 5 กรัม มีผู้ทดสอบชอบน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลจากเมื่อปริมาณสารก่อเจลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดของเจลเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการเชื่อมพันธะกันของสารก่อเจลเกิดเป็นร่างแห ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มของเหลวของเจลมีมากขึ้น เจลจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งระดับความหนืดที่เพิ่มขึ้นหากมีค่ามากเกินไปส่งให้ผู้ทดสอบรู้สึกไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากรู้สึกเหนียวเหนอะ ติดมือ โดยเฉพาะเจลที่ทดลองผลิตเป็นเจลชนิดที่ไม่ต้องล้างออก หากมีความหนืดสูงเกินไปอาจทำให้เกิดความรู้สึกว่ามีสารตกค้างบนฝ่ามือได้ จากการทดลองจึงพบว่าไม่จำเป็นต้องใช้สารก่อเจลถึง 5 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดตามสูตรสำเร็จกำหนด โดยระดับที่เหมาะสมคือ 4 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากสารก่อเจลที่ใช้ คือ Carbopol 940 และจากการทดลองของสายัณห์ และพรพีรา (2544) ซึ่งทดลองพัฒนาเจลล้างมือจากน้ำมันตะไคร้ โดยทดลองคัดเลือกสารก่อเจลที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัว พบว่าสารก่อเจลที่เหมาะสม Carbopol 940 เป็นสารก่อเจล ทำให้ได้เจลที่มีคุณสมบัติที่ต้องการ แสดงว่า Carbopol 940 เป็นสารก่อเจลที่มีคุณสมบัติการเกิดเจลที่ดี จึงไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณมากก็สามารถเกิดเจลได้ดี มีความหนืดเหมาะสม และมีผู้ทดสอบชอบมากกว่าระดับอื่นๆ จึงเลือกที่ระดับสารก่อเจลที่เหมาะสม คือ 4 กรัม เนื่องจาก เจลที่ได้มีลักษณะที่ดี จึงเลือกปริมาณสารก่อเจลที่ 4 กรัม ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.2 ผลการศึกษาระดับน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมต่อการผลิตเจลล้างมือ

จากการศึกษาระดับน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมต่อการผลิตเจลล้างมือ โดยการเตรียมเจลล้างมือจากชุดผลิตเจลล้างมือสำเร็จรูปเลือกใช้ระดับสารก่อเจลที่เหมาะสมจากขั้นตอนข้างต้น แต่แทนที่สารฆ่าเชื้อด้วยน้ำมันหอมระเหยที่ระดับ 1, 3, และ 5 % ตรวจสอบลักษณะของเจลล้างมือที่ได้ โดยเปรียบเทียบกับเจลล้างมือที่ใช้สารฆ่าเชื้อตามสูตรจากเจลสำเร็จรูป และเจลล้างมือที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อ โดยตรวจสอบลักษณะต่างๆ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลของน้ำมันหอมระเหยต่อความหนืดของเจลล้างมือ

เจลล้างมือ	ความหนืด (cPs)
ไม่เติมสารฆ่าเชื้อและน้ำมันหอมระเหย	2,500.00 ^{a} ± 50.00
เติมสารฆ่าเชื้อจากสูตรสำเร็จรูป	2,433.33 ^{a} ± 76.38
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1 %	2,383.33 ^{ab} ± 76.38
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 3 %	2,300.00 ^{b} ± 50.00
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 5 %	2,150.00 ^{c} ± 50.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษร a-c ที่ต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี DMRT

จากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บ้านส่งผลให้เจลมีความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเจลที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อใดๆ มีความหนืดสูงสุด คือ 2,500 cPs แต่เมื่อเติมสารฆ่าเชื้อและน้ำมันหอมระเหย ความหนืดของเจลมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ 3 และ 5 % ส่งผลให้เจลมีความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่ไม่ได้เติมน้ำมันหอมระเหย โดยความหนืดที่ลดลงส่งผลต่อความคงตัวของเจลและลักษณะปรากฏของเจล ดังภาพที่ 17

ก ข ค ง จ

หมายเหตุ ก หมายถึง เจลที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อและน้ำมันหอมระเหย

ข หมายถึง เจลที่เติมสารฆ่าเชื้อจากสูตรสำเร็จรูป

ค ง และ จ หมายถึง เจลที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1, 3 และ 5 % ตามลำดับ

ภาพที่ 17 ผลของน้ำมันหอมระเหยต่อลักษณะปรากฏของเจลล้างมือ

จากภาพที่ 17 เจลล้างมือที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อใดๆ เลยมีลักษณะที่ค่อนข้างข้นหนืด ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความหนืดข้างต้นดังตารางที่ 9 ซึ่งค่าความหนืดสูงสุด และเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหย เจลมีลักษณะที่ข้นหนืดลดลง และมีสีที่เข้มขึ้น โดยเฉพาะที่ 5 % ได้เจลสีเหลืองอ่อนซึ่งเป็นสีจากน้ำมันหอมระเหย ทั้งนี้เมื่อน้ำมันหอมระเหยส่งผลให้ความหนืดของเจลมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ 3 และ 5 % ส่งผลให้เจลมีความหนืดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งความหนืดที่ลดลงส่งผลต่อความคงตัวของเจลและลักษณะปรากฏของเจล ทำให้เจลเหลว ไม่เซ็ตตัว Apostolidis, Kwon และ Shetty (2008) รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย สามารถให้ H^+ ซึ่งการที่ปริมาณน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นแล้วส่งผลให้เจลที่ได้เหลว และไม่เซ็ตตัว อาจเป็นผลจากการแตกตัวให้ H^+ ของสารประกอบฟีนอลิกจึงไปขัดขวางการเชื่อมพันธะกันเพื่อเกิดเป็นเจลของ Carbopol 940 ทำให้เจลมีเนื้อสัมผัสที่เหลวเกินไป เมื่อนำไปทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการเรียงลำดับความชอบ (preference ranking) จากผู้ทดสอบจำนวน 20 คน การทดสอบนี้จะให้ผู้ทดสอบเรียงลำดับความชอบ โดยเรียงจากชอบมากไปหาชอบน้อย ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลของน้ำมันหอมระเหยต่อความชอบของผู้ทดสอบ

เจลล้างมือ	ผลการประเมินความชอบโดยวิธีการเรียงลำดับ
ไม่เติมสารฆ่าเชื้อและน้ำมันหอมระเหย	97 [b]
เติมสารฆ่าเชื้อจากสูตรสำเร็จรูป	37 [a]
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1 %	33 [a]
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 3 %	38 [a]
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 5 %	95 [b]

หมายเหตุ ค่าในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษร a, b ที่ต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยส่งผลต่อความชอบของผู้ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเจลล้างมือที่ผู้ทดสอบรู้สึกชอบมากที่สุด คือ เจลล้างมือที่เติมน้ำมันหอมระเหย 1 % รองลงมาคือ เจลล้างมือที่เติมน้ำมันหอมระเหย 3 % และ 1 % ตามลำดับ โดยเจลล้างมือที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อและเติมน้ำมันหอมระเหย 5 % มีผู้ทดสอบชอบน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลจากเจลล้างมือที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อมีความหนืดมากเกินไป ส่งให้ผู้ทดสอบรู้สึกไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากรู้สึกเหนียวเหนอะ ติดมือ โดยเฉพาะเจลที่ทดลองผลิตเป็นเจลชนิดที่ไม่ต้องล้างออก หากมีความหนืดสูงเกินไปอาจทำให้เกิดความรู้สึกว่ามีสารตกค้างบนผิวฝ่ามือได้ และแม้ว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมมากขึ้น แต่หากเติมน้ำมันหอมระเหยมากเกินไปเจลที่ได้จะเหลว และมีกลิ่นที่รุนแรงมาก ส่งผลให้เกิดความรู้สึกเหมือนมีกลิ่นตกค้างภายหลังการล้างมือ และเมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *Staphylococcus aureus* ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลของน้ำมันหอมระเหยต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์

เจลล้างมือ	ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์	
	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	*S. aureus*
ไม่เติมสารฆ่าเชื้อและน้ำมันหอมระเหย	+	+
เติมสารฆ่าเชื้อจากสูตรสำเร็จรูป	-	-
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1 %	-	-
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 3 %	+	+
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 5 %	+	+

หมายเหตุ + หมายถึง พบการเจริญของเชื้อ และ – หมายถึง ไม่พบการเจริญของเชื้อ

จากการตรวจสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรีย พบว่า ผู้ทดสอบที่ล้างมือด้วยเจลล้างมือที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อและเจลล้างมือที่เติมน้ำมันหอมระเหย 1 % หลังใส่ตัวอย่างทดสอบและบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อาหารเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีม่วงปนเหลือง มีความขุ่นและแก๊สปุดขึ้นเมื่อเขย่าเบาๆ แสดงว่าตัวอย่างมีการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียแต่ผู้ทดสอบที่ล้างมือด้วยเจลที่เติมน้ำมันหอมระเหย 3 และ 5 % หลังใส่ตัวอย่างทดสอบและบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อาหารยังคงเป็นสีม่วงใสไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าตัวอย่างไม่มีการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

และจากการตรวจสอบการปนเปื้อนของ *S. aureus* พบว่า ผู้ทดสอบที่ล้างมือด้วยเจลล้างมือที่ไม่เติมสารฆ่าเชื้อและเจลล้างมือที่เติมน้ำมันหอมระเหย 1 % หลังใส่ตัวอย่างทดสอบและบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง อาหารเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำเงินปนเขียว แสดงว่าตัวอย่างมีการปนเปื้อนเชื้อ *S. aureus* แต่ผู้ทดสอบที่ล้างมือด้วยเจลที่เติมน้ำมันหอมระเหย 3 และ 5 % หลังใส่ตัวอย่างทดสอบและบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง อาหารยังคงเป็นสีน้ำเงินใสไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าตัวอย่างไม่มีการปนเปื้อนเชื้อ *S. aureus* จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันหอมระเหย 3 และ 5 % สามารถลดการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *S. aureus* ได้

โดยทั่วไป โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และ *S.aureus* จัดเป็นเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้บ่งชี้สุขลักษณะส่วนบุคคล เนื่องจากโคลิฟอร์มแบคทีเรียซึ่งหมายถึงกลุ่มของแบคทีเรียในวงศ์ Enterobacteriaceae ตัวอย่างแบคทีเรียที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ *Escherichia coli* ซึ่ง สุวิมล (2547) รายงานว่า *E. coli* เป็นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจากทางเดินอาหารของคน จากสุขลักษณะส่วนบุคคลไม่เหมาะสม กล่าวคือ หลังการเข้าห้องน้ำแล้วล้างมือไม่สะอาด การปนเปื้อนจะก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษ ส่วน *S. aureus*

เป็นเชื้อที่อยู่ตาม แผล ฝี หนอง ในจมูก และในหูของคน การปนเปื้อนของเชื้อนี้อาจาจากมือของพนักงานที่มีบาดแผล หรือมีวิธีการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้อง เช่น ซอบแคะ แกะ เกา ตามตัวขณะปฏิบัติงาน เมื่อใช้มือที่ไม่สะอาดสัมผัสกับอาหาร และวางอาหารนั้นทิ้งไว้ จะทำให้เชื้อเจริญ หากมีปริมาณมากถึง 10^5 เซลล์ เชื้อนี้จะสร้างสารพิษ ซึ่งทำให้เกิดอาการอาเจียนและปวดศีรษะอย่างรุนแรง

จากการทดสอบโดยให้ผู้ทดสอบล้างมือด้วยเจลที่เติมน้ำมันหอมระเหยที่ระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับเจลที่ใช้สารฆ่าเชื้อและไม่ใช้สารฆ่าเชื้อใดๆ แล้วทดสอบการปนเปื้อนของมือ พบว่า ผู้ทดสอบที่ล้างมือด้วยเจลล้างมือที่ใช้สารฆ่าเชื้อและเติมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บ้าน 3 และ 5 % ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งสัมพันธ์กับการทดลองของสายัณห์ และพรพีรา (2544) ทดลองพัฒนาเจลล้างมือจากน้ำมันตะไคร้ พบว่าสูตรที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดคือตำรับที่มีความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ 5 % แต่ผู้ทดสอบที่ล้างมือด้วยเจลล้างมือที่ไม่ใช้สารฆ่าเชื้อใดๆ และใช้น้ำมันหอมระเหยเพียง 1 % ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด แสดงให้เห็นว่า คนส่วนใหญ่ ยังคงมีสุขลักษณะส่วนบุคคลที่ไม่ดี โดยเฉพาะการไม่ล้างมือหลังจากการใช้ห้องน้ำหรือห้องสุขา แต่เมื่อล้างมือด้วยเจลที่ผสมน้ำมันหอมระเหย เพียง 3 % ก็สามารถลดการปนเปื้อนได้ ซึ่งจะส่งผลดีต่อสุขภาพโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีเพื่อการฆ่าเชื้อ โดยน้ำมันหอมระเหยมีกลไกการต้านจุลินทรีย์โดยสารประกอบฟีนอลิกสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับตัว receptor ในเซลล์เมมเบรน โดยการทำปฏิกิริยาของสารประกอบฟีนอลิกคือ การให้ H^+ และอาจส่งผลต่อส่วนของ ion pump จึงส่งผลให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ถูกทำลาย ของเหลวภายในเซลล์รั่วไหลออกมาภายนอก เซลล์บาดเจ็บและถูกทำลายไปในที่สุด (Apostolidis, Kwon และ Shetty, 2008) ดังนั้นการใช้น้ำมันหอมระเหยเพียง 3 % จึงเป็นระดับที่ดีที่สุดทั้งด้านกายภาพและการยับยั้งจุลินทรีย์

สรุปผลการทดลอง

พืชในท้องถิ่นที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปสกัดน้ำมันหอมระเหย คือ ตะไคร้บ้าน โดยใช้ส่วนของใบ ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากการบริโภค แล้วนำส่วนดังกล่าวไปกลั่นเอาน้ำมันหอมระเหยโดยใช้วิธีกลั่นด้วยไอน้ำ ซึ่งเครื่องกลั่นประกอบด้วย ส่วนประกอบทั้งหมด 5 ส่ วน คือ ถังกลั่น (retort tank) ฝาของถังกลั่น (retort cover) ท่อนำไอน้ำ (vapor conduct tube) หม้อต้มไอน้ำ (steam generator) และตัวควบแน่น (condenser) โดยวิธีในการทำจะเป็นการนำส่วนประกอบทั้ง 4 ประกอบเข้าด้วยกัน เมื่อประกอบเข้าด้วยกันแล้วจะได้เครื่องที่มีขนาดด้านกว้าง × ยาว× สูง ประมาณ 0.45×0.70×1.70 เมตร มีระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยมีส่วนที่ทำการควบแน่น (condenser) แยกต่างหาก สามารถประกอบ หรือถอดชิ้นส่วนออกได้ง่าย และขนย้ายได้สะดวก ทำจากเหล็กปลอดสนิมชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (stainless steel, food grade)

สำหรับน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้มีลักษณะสีเหลืองใส ไม่ขุ่น สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ คือ เจลล้างมือชนิดไม่ล้างออก โดยใช้ Carbopol 940 (สารก่อเจล) 4 กรัม แอลกอฮอล์ 1,100 มิลลิลิตร triethanolamine 99% 25 มิลลิลิตร และน้ำสะอาด 600 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บ้าน 3 % ของส่วนผสมทั้งหมด ได้เจลล้างมือชนิดไม่ล้างออก เพื่อช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่มักพบบริเวณฝ่ามือและนิ้ว อันเป็นอวัยวะสำคัญที่มนุษย์ต้องใช้ในการหยิบจับอาหารเพื่อการบริโภคและทำกิจกรรมต่างๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต จึงควรรักษาความสะอาดอยู่เสมอ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่เป็นการส่งเสริมสุขภาพเชิงรุกแทนการรักษาโรค