# วิทยานิพนธ์

**ความคงตัวของสารให้กลิ่นสำคัญในน้ำมันหอมระเหยผสมจากสมุนไพรสำหรับต้มยำที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอาราบิกโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย**

**STABILITY OF KEY AROMA COMPOUNDS IN MIXED HERBAL ESSENTIAL OILS FOR TOM-YUM ENCAPSULATED WITH MALTODEXTRIN AND GUM ARABIC BY SPRAY DRYING**

**นางสาวณพรรษสร ทองพิมพ์ใหญ่**

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

**ปีการศึกษา ๒๕๖๔**

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

**ปริญญา** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

**สาขาวิชา** วิทยาศาสตร์การอาหาร

**ภาควิชา** วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

**เรื่อง** ความคงตัวของสารให้กลิ่นสำคัญในน้ำมันหอมระเหยผสมจากสมุนไพรสำหรับต้มยำที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

Stability of Key Aroma Compounds in Mixed Herbal Essential Oils for Tom-Yum Encapsulated with Maltodextrin and Gum Arabic by Spray Drying

**นามผู้วิจัย** นางสาวณพรรษสร ทองพิมพ์ใหญ่

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก** .....

(รองศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** .....

(รองศาสตราจารย์อุทัย กลิ่นเกษร, ปร.ด.)

**หัวหน้าภาควิชา** .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กุลนาถ ทองขาว, Ph.D.)

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

.....

(รองศาสตราจารย์ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์, Ph.D.)

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

# ความคงตัวของสารให้กลิ่นสำคัญในน้ำมันหอมระเหยผสมจากสมุนไพรสำหรับต้มยำที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

# Stability of Key Aroma Compounds in Mixed Herbal Essential Oils for Tom-Yum Encapsulated with Maltodextrin and Gum Arabic by Spray Drying


โดย

นางสาวณพรรษสร ทองพิมพ์ใหญ่


เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
ปีการศึกษา 2564


Copyright by Kasetsart University All rights reserved

ณพรรษสร ทองพิมพ์ใหญ่ : ความคงตัวของสารให้กลิ่นสำคัญในน้ำมันหอมระเหยผสมจากสมุนไพรสำหรับต้มยำที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.
ปีการศึกษา 2564

"ต้มยำ" เป็นอาหารไทยที่มีเอกลักษณ์ด้านกลิ่นรสจากสมุนไพรไทยที่ใช้เป็นเครื่องต้มยำ ได้แก่ ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด และมะนาว สามารถสกัดใช้ในรูปน้ำมันหอมระเหยได้ แต่มีความคงตัวต่ำ การห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสต้มยำจากน้ำมันหอมระเหยด้วยมอลโตเดกซ์ทริน (MD) และกัมอราบิก (GA) โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถเพิ่มความคงตัวและเปลี่ยนรูปแบบให้อยู่ในรูปผงแห้ง ช่วยเพิ่มทางเลือกในการใช้ประโยชน์ มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มที่หาง่ายและราคาถูก นิยมใช้ร่วมกับกัมอราบิกเนื่องจากมีคุณสมบัติก่ออิมัลชัน ช่วยให้กักเก็บน้ำมันหอมระเหยได้ดียิ่งขึ้น การศึกษาผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มแตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้มให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด (58.99 %) ผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 และ 1:3 มีความสามารถกักเก็บสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำระดับสูงรวม 5 ชนิด ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และสูงกว่าการใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกัมอราบิกมีราคาสูงและการเพิ่มสัดส่วนของกัมอราบิกเป็น 1:3 มีการเกิดฟิล์มติดรอบห้องอบแห้ง และทำให้ผงแห้งกลิ่นต้มยำเป็นสีเหลืองมากขึ้น ในการศึกษาความคงตัวของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เลือกใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 โดยนำไปเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง (40 °C, 75 % RH) นาน 40 วัน พบว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำมีความคงตัวของ caryophyllene, eucalyptol และ linalool สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน และเมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะกลิ่นของสารระเหยให้กลิ่นในผงแห้งกลิ่นต้มยำ (วันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษา) ด้วย GC-O ไม่พบสารระเหยให้กลิ่นชนิดใหม่ และไม่พบกลิ่นผิดปกติเกิดขึ้น โดยในช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 40) พบว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น มีค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 5.54 และมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.3

_____ _____ ____/____/____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Napathsorn Thongpimyai : Stability of Key Aroma Compounds in Mixed Herbal Essential Oils for Tom-Yum Encapsulated with Maltodextrin and Gum Arabic by Spray Drying. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology.
Thesis Advisor: Associate Professor Wannee Jirapakkul, Ph.D.
Academic Year 2021

"Tom-Yum" is a Thai food with a unique flavor from Thai herbal ingredients such as galangal, lemongrass, kaffir lime leaves, and lime. These herbs can be extracted as essential oils but they have low stability. Encapsulation of Tom-Yum flavor from essential oils with maltodextrin (MD) and gum arabic (GA) by spray drying, a method commonly used in the food industry, can increase stability and transform into powder providing more options for utilization. Maltodextrin is a wall material that is commercially available and cheap. Gum arabic is used in combination with maltodextrin. The emulsifying property of gum arabic could gain higher essential oil retention. The study of Tom-Yum flavor powder using different wall material ratios (MD: GA=1:0, 1:1, 1:2, and 1:3) showed that the highest yield (58.99 %) was obtained when using only maltodextrin. The Tom-Yum flavor powder using MD: GA ratios of 1:2 and 1:3 showed no difference in retention of a total of 5 high-level key Tom-Yum flavor compounds ($p > 0.05$) and higher than other wall material ratios ($p \leq 0.05$). The Tom-Yum flavor powder was more yellow with higher gum arabic ratio and there was a sticky film on the drying chamber. Therefore, the MD: GA ratio of 1:2 was selected in the study of the stability of Tom-Yum flavor powder. The Tom-Yum flavor powder, stored at accelerated condition (40 °C, 75 % RH) for 40 days, had higher stability of caryophyllene, eucalyptol, and linalool than Tom-Yum essential oil which kept under the same conditions. The analysis of odor descriptions of odor compounds in Tom-Yum flavor powder (day 0 and 40 of storage) by GC-O showed that there was no new odor compound and no off-odor was generated. At the last period of storage (day 40), the Tom-Yum flavor powder was more yellow. The moisture content was 5.54 % and the water activity value was less than 0.3.

_____ _____ ____ / ____ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ รศ.ดร.วรรณี จิรภาคย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ซึ่งให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการศึกษา การทำงานวิจัย การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ การตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ ตลอดทั้งให้ความเมตตาและเป็นแบบอย่างที่ดีในการทำงานและการใช้ชีวิตแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อุทัย กลิ่นเกษร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำและแนวทางที่ดีในการทำงานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เยาวภา หล่อเจริญผล ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และ รศ.ดร.สงวนศรี เจริญเหรียญ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่เสียสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายของนิสิต

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

ขอกราบขอบพระคุณคุณครูและอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่อบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตั้งแต่เล็กจนโต ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สำหรับความช่วยเหลือและไมตรีจิตที่มีให้ข้าพเจ้า ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโท-เอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุก ๆ ท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษาและการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนส่งเสริม และให้กำลังใจข้าพเจ้าด้วยความรักเสมอมา

ณพรรษสร ทองพิมพ์ใหญ่

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญภาพ ..... ซ
คำนำ ..... 1
วัตถุประสงค์ ..... 2
การตรวจเอกสาร ..... 3
อุปกรณ์และวิธีการ ..... 20
อุปกรณ์ ..... 20
วิธีการ ..... 22
ผลและวิจารณ์ ..... 30
สรุปและข้อเสนอแนะ ..... 58
สรุป ..... 58
ข้อเสนอแนะ ..... 60
เอกสารและสิ่งอ้างอิง ..... 61
ภาคผนวก ..... 68
ภาคผนวก ก ..... 69
ประวัติการศึกษา และการทำงาน ..... 80

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มเทอร์พีนตามจำนวนหน่วยไอโซพรีน .....5

ตารางที่ 2 ปริมาณสารในกลุ่มเทอร์พีนหลักที่พบในน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ .....5

ตารางที่ 3 ตัวอย่างสารให้กลิ่นรสกลุ่มมอนอเทอร์พีน (monoterpene) และเซสควิเทอร์พีน (sesquiterpene) ที่พบในน้ำมันหอมระเหย .....6

ตารางที่ 4 ไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้สำหรับไมโครเอนแคปซูเลทโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยในอุตสาหกรรมอาหาร .....17

ตารางที่ 5 สารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ตามเกณฑ์การคัดเลือกจำนวน 12 ชนิด .....32

ตารางที่ 6 ชนิดและปริมาณสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS).....33

ตารางที่ 7 ปริมาณผลผลิต (% yield) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3).....39

ตารางที่ 8 ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3).....44

ตารางที่ 9 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3).....45

ตารางที่ 10 ลักษณะกลิ่น (odor description) ของสารระเหยให้กลิ่นที่พบในผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 ณ วันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography-olfactometry (GC-O).....53

ตารางที่ 12 ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) และค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 เก็บรักษาที่สภาวะเร่งเป็นระยะเวลา 40 วัน.....57

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit).....4

ภาพที่ 2 โครงสร้างของไมโครแคปซูล.....11

ภาพที่ 3 แผนผังกระบวนการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส .....13

ภาพที่ 4 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน (ก) reservoir (ข) matrix และ (ค) coated matrix.....14

ภาพที่ 5 กระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย.....15

ภาพที่ 6 ร้อยละองค์ประกอบของสารระเหยกลุ่มหลักที่พบในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS).....30

ภาพที่ 7 ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำระดับสูง 5 ชนิด (ก) caryophyllene (ข) citronellal (ค) eucalyptol (ง) geranial (จ) linalool และ (ฉ) ความเข้มข้นสัมพัทธ์รวมของสารสำคัญทั้ง 5 ชนิด ที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3).....43

ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ) ปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำระดับสูง 5 ชนิด (ก) caryophyllene (ข) citronellal (ค) eucalyptol (ง) geranial และ (จ) linalool ของผงแห้งกลิ่นต้มยำและน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ในช่วงการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง 40 วัน เปรียบเทียบกับปริมาณสารสำคัญเริ่มต้น วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS).....51

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# คำนำ

ต้มยำเป็นอาหารประจำชาติไทย นิยมรับประทานกันทุกภูมิภาคและเป็นที่รู้จักของชาวต่างชาติ เนื่องจากรสชาติที่จัดจ้านครบรส และเอกลักษณ์ด้านกลิ่นรสจากสมุนไพรไทยที่ใช้เป็นเครื่องต้มยำ ได้แก่ ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด และมะนาว สมุนไพรดังกล่าวสามารถสกัดออกมาอยู่ในรูปของน้ำมันหอมระเหย (essential oil) เป็นของเหลวที่มีข้อจำกัด คือ ความไม่คงตัวต่อแสง ความร้อน อากาศ ความชื้น และสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง (Turek & Stintzing, 2013) จึงนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ไม่หลากหลายนัก

การกักเก็บสารให้กลิ่นรสต้มยำจากสมุนไพรให้อยู่ในรูปของผงแห้งโดยการทำเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) เป็นกระบวนการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสต้มยำจากน้ำมันหอมระเหยด้วยพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของแคปซูล ป้องกันการระเหย การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การถูกทำลายจากความร้อน แสง ความชื้นและอากาศ รวมทั้งเป็นการเปลี่ยนรูปแบบของน้ำมันหอมระเหยจากของเหลวเป็นผงแห้ง ส่งผลช่วยเพิ่มความคงตัว ความสะดวกในการขนส่ง ยืดอายุการเก็บรักษา และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นได้ เช่น การละลายผงแห้งกลิ่นต้มยำในน้ำร้อนเพื่อปลดปล่อยสารให้กลิ่น เป็นต้น (ดัดแปลงจาก Madene, Jacquot, Scher, & Desobry, 2006) การทำเอนแคปซูเลชันโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เป็นวิธีที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหารมากที่สุดเนื่องจาก ต้นทุนการผลิตต่ำ หาเครื่องมือได้ง่าย วิธีการที่ไม่ยุ่งยาก สามารถผลิตได้ครั้งละมาก ๆ และมีประสิทธิภาพในการกักเก็บ (Mohammed, Tan, Manap, Muhialdin, & Hussin, 2020) โดยมอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นสารห่อหุ้มที่หาง่ายและราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มน้ำมันต่ำ จึงมีการนำมาใช้ร่วมกับกัมอราบิก (gum arabic) ซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความหนืดต่ำ และมีคุณสมบัติก่ออิมัลชัน ช่วยให้กักเก็บน้ำมันได้ดี (Burnside, 2014)

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) ต่อปริมาณผลผลิต (% yield) ค่าสี (ระบบ L* a* b*) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ ตลอดจนความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำ นอกจากนี้ศึกษาความคงตัว (stability) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำในขณะเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง เพื่อเพิ่มทางเลือกการใช้ประโยชน์ผงแห้งกลิ่นต้มยำซึ่งเป็นวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสจากน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากวัตถุดิบธรรมชาติ มีกระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการใช้กัมอราบิก (gum arabic) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำในผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)
2. ศึกษาความคงตัว (stability) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# การตรวจเอกสาร

## สารให้กลิ่นรสต้มยำ

ต้มยำเป็นอาหารประจำชาติไทยที่นิยมรับประทานทั่วทุกภูมิภาค และเป็นที่นิยมสำหรับชาวต่างชาติอีกด้วย เนื่องจากต้มยำมีรสชาติที่จัดจ้านครบรส และมีเอกลักษณ์ด้านกลิ่นรสจากสมุนไพรไทยที่ใช้เป็นเครื่องต้มยำ ได้แก่ ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด และมะนาว

ในงานวิจัยของ สุมิตรา บุญบำรุง (2549) ได้ทำการศึกษาสารระเหยให้กลิ่นจากสารสกัดกลิ่นรสต้มยำ โดยพิจารณาสารระเหยให้กลิ่นในน้ำมันหอมระเหยต้มยำจากค่า odor unit ($U_o$) หรือ odor activity value (OAV) ซึ่งคำนวณได้จากความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยแต่ละชนิดและค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถรับรู้ได้ (threshold) ของสารระเหยชนิดนั้น ๆ หากสารระเหยใดมีปริมาณมากกว่า odor threshold สารระเหยนั้นย่อมให้กลิ่นในตัวอย่าง ($U_o$ หรือ OAV มากกว่า 1) พบว่าสารระเหยที่มีความสำคัญต่อกลิ่นรสต้มยำแบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. ระดับสูง ($U_o$ หรือ OAV = 7,000-100,000) ได้แก่ eucalyptol (1,8-cineole), geranial (citral a), citronellal และ linalool
2. ระดับกลาง ($U_o$ หรือ OAV = 1,000-6,800) ได้แก่ neral (citral b), 3-methyl butanal, β-ocimene, citronellol และ β-myrcene
3. ระดับต่ำ ($U_o$ หรือ OAV < 600) ได้แก่ limonene, α-pinene, caryophyllene, geranyl acetate, α-terpinolene, α-terpinene, γ-terpinene, linalool oxide, β-pinene และ terpinen-4-ol

สมุนไพรไทยที่ใช้เป็นเครื่องต้มยำในรูปแบบของสดมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น ปัญหาเรื่องความคงตัว มีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น และการขนส่งลำบาก สารให้กลิ่นรสในรูปแบบอื่น ๆ สามารถลดข้อจำกัดดังกล่าว และช่วยเพิ่มความหลากหลายให้กับผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ใบมะกรูดอบแห้ง เป็นวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสธรรมชาติ (natural flavoring) จากการศึกษาของ Jirapakkul, Tinchan, and Chaiseri (2013) พบว่าสารให้กลิ่นที่พบในใบมะกรูดสดลดลงมากเมื่อผ่านการอบแห้ง และการมีชิ้นส่วนของสมุนไพรอาจจะไม่เหมาะสมกับบางผลิตภัณฑ์ สำหรับวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสสังเคราะห์ (artificial flavoring) ไม่เป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภคที่ชอบอาหารจากธรรมชาติ

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

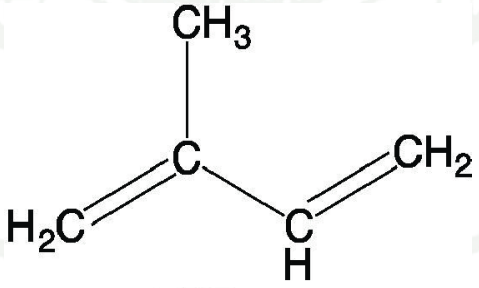
**น้ำมันหอมระเหย**

น้ำมันหอมระเหย (essential oil) เป็นผลิตผลจากการสกัดพืชสมุนไพรและเครื่องเทศนานาชนิด ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น มักมีกลิ่นหอม ระเหยง่าย พบได้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล เมล็ด กลีบเลี้ยง เป็นน้ำมันที่มีกลิ่นรสเฉพาะตัว น้ำมันหอมระเหยมีข้อจำกัด คือ ความไม่คงตัวจากแสง ความร้อน อากาศ ความชื้น และสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง ปัจจุบันมีการนำสารประกอบที่ให้กลิ่นรสจากเครื่องเทศและสมุนไพร มาใช้ในรูปของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจำแนกตามองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ แอลกอฮอล์ อีเทอร์หรือออกไซด์ แอลดีไฮด์ คีโตน เอสทอร์ เอมีน เอไมด์ ฟีนอล เฮทเทอโรไซเคิล และสารในกลุ่มเทอร์พีน ซึ่งเป็นสารที่พบมากที่สุดในน้ำมันหอมระเหย (Dhifi, Bellili, Jazi, Bahloul, & Mnif, 2016)

**สารให้กลิ่นรสในกลุ่มเทอร์พีน**

เทอร์พีน (terpene) เป็นสารประกอบอโรมาติกที่สังเคราะห์ได้โดยพืช พืชแต่ละชนิดจะมีเอนไซม์กลุ่ม terpene synthase ที่ทำงานร่วมกันเพื่อสร้างสารประกอบเทอร์พีนขึ้นมาจาก building block ขนาดเล็ก เรียกว่า หน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) ซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอม มีสูตรโมเลกุล $(C_5H_8)_n$ และมีโครงสร้างโมเลกุลดังแสดงในภาพที่ 1 และสามารถแบ่งกลุ่มเทอร์พีนได้ตามจำนวนของหน่วยไอโซพรีน ดังแสดงในตารางที่ 1




**ภาพที่ 1** โครงสร้างหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit)
**ที่มา**: Aldred (2009)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 1** การแบ่งกลุ่มเทอร์พีนตามจำนวนหน่วยไอโซพรีน

| กลุ่มเทอร์พีน | หน่วยไอโซพรีน (n) | คาร์บอนอะตอม |
|---|---|---|
| มอนอเทอร์พีน (monoterpene) | 2 | 10 |
| เซสควิเทอร์พีน (sesquiterpene) | 3 | 15 |
| ไดเทอร์พีน (diterpene) | 4 | 20 |
| ไตรเทอร์พีน (triterpene) | 6 | 30 |
| เตตระเทอร์พีน (tetraterpene) | 8 | 40 |

**ที่มา:** Aldred (2009)

สารในกลุ่มเทอร์พีนพบมากในน้ำมันหอมระเหยจากพืชและสมุนไพร (ตารางที่ 2) ให้กลิ่นเฉพาะตัวของน้ำมันหอมระเหยชนิดนั้น ๆ โดยมอนอเทอร์พีน (monoterpene) และเซสควิเทอร์พีน (sesquiterpene) เป็นสารประกอบหลักที่พบน้ำมันหอมระเหย (ตารางที่ 3) บางครั้งสามารถพบไดเทอร์พีน (diterpene) ได้ในปริมาณที่น้อยมาก เนื่องจากมีมวลโมเลกุลสูงทำให้ระเหยขึ้นมาได้ยากในระหว่างการกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ (Noriega, 2021)

**ตารางที่ 2** ปริมาณสารในกลุ่มเทอร์พีนหลักที่พบในน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ

| น้ำมันหอมระเหย | ชื่อสาร | ปริมาณ (%) |
|---|---|---|
| อบเชย (cinnamon) | cinnamaldehyde | 90 |
| ขิง (ginger) | zingiberene, sesquiphellandrene, curcumene | 55 |
| มะกรูด (bergamot) | limonene, terpinene | 50 |
| กานพลู (clove) | caryophyllene | 12 |

**ที่มา:** Hill (n.d.)

มอนอเทอร์พีนที่พบในน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่ มีโครงสร้างของคาร์บอนอะตอม 10 ตัว ซึ่งมาจาก 2 หน่วยไอโซพรีน เนื่องจากมอนอเทอร์พีนมีขนาดเล็กกว่าเทอร์พีนกลุ่มอื่น ๆ จึงไวต่ออากาศและความร้อน ทำให้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าเซสควิเทอร์พีน นอกจากนี้มอนอเทอร์พีนยังมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ เนื่องจากมีขนาดเล็กพอที่จะอยู่ระหว่างโมเลกุลของไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ จึงสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปได้อย่างสมบูรณ์ คาดว่ามีมอนอเทอร์พีนมากกว่า 2,000 ชนิด โดยแต่ละชนิดมีเอกลักษณ์ทางชีวภาพแตกต่างกันออกไป (Aldred, 2009; Noriega, 2021)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

เซสควิเทอร์พีน มีโครงสร้างของคาร์บอน 15 อะตอม ซึ่งมาจาก 3 หน่วยไอโซพรีน เนื่องจากเซสควิเทอร์พีนมีมวลโมเลกุลสูงกว่ามอนอเทอร์พีน จึงระเหยได้ยากกว่ามอนอเทอร์พีน และมีไม่มากในน้ำมันหอมระเหยเมื่อเทียบกับมอนอเทอร์พีน (Aldred, 2009; Noriega, 2021)

**ตารางที่ 3** ตัวอย่างสารให้กลิ่นรสกลุ่มมอนอเทอร์พีน (monoterpene) และเซสควิเทอร์พีน (sesquiterpene) ที่พบในน้ำมันหอมระเหย

| กลุ่มเทอร์พีน | ชื่อสาร | น้ำมันหอมระเหย[a] | คำอธิบายกลิ่น[b] |
|---|---|---|---|
| มอนอเทอร์พีน (monoterpene) | limonene | เลมอน, มะนาว, มะกรูด | เลมอน, ส้ม |
| | cinnamaldehyde | อบเชย | อบเชย, สี |
| | terpinene | ยี่หร่า, กานพลู, ขิง | เลมอน |
| เซสควิเทอร์พีน (sesquiterpene) | caryophyllene | กานพลู | ไม้, เครื่องเทศ |
| | zingiberene | ขิง | เครื่องเทศ, สดชื่น, แหลม |
| | curcumene | ขิง, ขมิ้น | สมุนไพร |

**ที่มา:** Hill (n.d.)[a] และ Acree and Arn (2004)[b]

**สมุนไพรหลักให้กลิ่นรสต้มยำ**

**ข่า (galanga)**

ข่ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Alpinia galanga* (L.) Swartz หรือ *Languas galangal* เป็นพืชล้มลุกของเอเชียเขตร้อน ผลและเหง้ามีรสเผ็ดร้อน เหง้าของข่ามีกลิ่นหอมฉุน รสขมอมหวานและเผ็ดร้อน ใช้ปรุงแต่งกลิ่นอาหาร กำจัดกลิ่นคาวเนื้อสัตว์ เช่น กลิ่นคาวเนื้อปลา และใช้ผสมในเครื่องแกงหลากหลายชนิด เช่น น้ำพริกแกง ไก่ต้มข่า ข่าอ่อนรับประทานเป็นผักจิ้มกับน้ำพริก ข่ามีสรรพคุณทางยา เนื่องจากมีสารระเหยหลายชนิด เช่น cineole, camphor และ eugenol ซึ่งมีฤทธิ์ขับลม และมีฤทธิ์ในการรักษาหลายรูปแบบ เช่น ลดการบีบตัวของลำไส้เล็ก ลดการอักเสบ และลดการบวม (anti-inflammatory) ในข่ายังพบ 1'-acetoxy chavicol acetate และ 1'-acetoxy eugenol acetate สารนี้ออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อราและแบคทีเรียได้

มีการศึกษาองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากใบ ลำต้น เหง้า และรากข่า (*A. galanga*) วิเคราะห์ด้วย gas chromatography พบมอนอเทอร์พีน เซสควิเทอร์พีน และ (E)-methyl cinnamate ในน้ำมันหอมระเหยจากข่าทั้ง 4 ชนิด โดยองค์ประกอบหลักที่พบในน้ำมันหอมระเหยจากใบข่า ได้แก่ eucalyptol (1,8-cineole) (28.3 %), camphor (15.6 %), β-pinene (5.0 %), (E)-methyl cinnamate (4.6 %), bornyl acetate (4.3 %) และ guaiol (3.5 %) องค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยจากลำต้นข่า ได้แก่ eucalyptol (1,8-cineole) (31.1 %), camphor (11.0 %), (E)-methyl

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

cinnamate (7.4 %), guaiol (4.9 %), bornyl acetate (3.6 %), β-pinene (3.3 %) และ α-terpineol (3.3 %) องค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าข่า ได้แก่ 1,8-cineole (28.4 %), α-fenchyl acetate (18.4 %), camphor (7.7 %), (E)-methyl cinnamate (4.2 %) และ guaiol (3.3 %) ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากรากข่า พบ α-fenchyl acetate (40.9 %), eucalyptol (1,8-cineole) (9.4 %), borneol (6.3 %), bornyl acetate (5.4 %) และ elemol (3.1 %) เป็นองค์ประกอบหลัก (Ravindran, Pillai, Balachandran, & Divakaran, 2012)

Kubota, Someya, Kurobayashi, and Kobayashi (1999) ได้ทำการศึกษาสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในเหง้าข่า (*Alpinia galanga* Willd. L.) โดยใช้เทคนิค aroma extract dilution analysis (AEDA) ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์สารให้กลิ่นโดยการเจือจาง โดยที่ระดับความเจือจาง (dilution factor) เท่ากับ 64 พบสาร eucalyptol (1,8-cineole) และที่ระดับความเจือจาง เท่ากับ 32 พบสาร linalool, geranyl acetate , eugenol และ chavicol acetate

**ตะไคร้ (lemongrass)**

ตะไคร้เป็นพืชยืนต้นในเขตร้อนที่ให้น้ำมันหอมระเหย ชื่อของตะไคร้ (lemongrass) มาจากกลิ่นคล้ายเลมอน (lemon-like odor) น้ำมันตะไคร้ส่วนใหญ่ผลิตมาจากตะไคร้สายพันธุ์ *Cymbopogon flexuosus* หรือสายพันธุ์ *C. citratus*

น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ สายพันธุ์ *C. flexuosus* มีองค์ประกอบ 75-85 % เป็นอัลดีไฮด์ที่มาจาก citral เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบหลักในน้ำมันดังกล่าว ได้แก่ geranial (citral a-51.19 %), neral (citral b-26.21 %), geraniol (5.00 %), limonene (2.42 %), nerol (2.20 %), geranyl acetate (1.95 %), methyl heptanone (1.50 %), linalool (1.34 %), β-myrcene (0.46 %), citronellol (0.44 %), citronellal (0.37 %), caryophyllene (0.32 %), α-terpineol (0.24 %), α-pinene (0.24 %), *trans*-β-ocimene (0.07 %), *cis*-β-ocimene (0.06 %), terpenolene (0.05 %) และ β-thujene (0.03 %)

น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ สายพันธุ์ *C. citratus* ประกอบไปด้วย geranial (citral a-41.82 %), β-myrcene (12.75 %), geranyl acetate (3.00 %), methyl heptanene (2.62 %), geraniol (1.85 %), β-elemene (1.33 %), elemol (1.20 %), citronellyl acetate (0.96 %), citronellal (0.73 %), caryophyllene oxide (0.61 %), limonene (0.23 %), β-cymene (0.20 %), neral (citral b-0.18 %), caryophyllene (0.18 %), β-pinene (0.16 %), δ-3-catrene (0.16 %), α-pinene (0.13 %) และ β-phellandrene (0.07 %)

ไอโซเมอร์ 2 ชนิด ของ citral ได้แก่ geranial (citral a) และ neral (citral b) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ โดย citral จะมีกลิ่นรสซิตรัส geraniol, linalool และ

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

citronellol เป็น acyclic terpene alcohols ที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ใช้เป็นสารตั้งต้นของสารให้กลิ่นรสและน้ำหอม geraniol ใช้ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อเน้นกลิ่นซิตรัส nerol และ citronellol ใช้เพื่อแต่งกลิ่นรสซิตรัส pinene เป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่สำคัญในอุตสาหกรรมน้ำหอมและสารให้กลิ่นรสในอาหาร (Skaria, Joy, Mathew, & Mathew, 2006) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2562ก) ได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1681-2562) ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยมีการกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการทางด้านเคมีของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ระบุว่าองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ที่วิเคราะห์ด้วย gas chromatography ต้องมี citral (คำนวณผลรวมของ neral และ geranial) ไม่น้อยกว่า 75 %

จากรายงานของ พิชามญชุ์ สว่างสุข และ วรรณี จิรภาคย์กุล (2550) ศึกษาสารระเหยให้กลิ่นสำคัญที่พบในตะไคร้สด (*C. citratus*) โดยพิจารณาจากค่า odor activity value (OAV) ซึ่งคำนวณได้จากความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารระเหยแต่ละชนิดและค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถรับรู้ได้ (threshold) ของสารระเหยชนิดนั้น ๆ หาก OAV ของสารระเหยมีค่ามากกว่า 1 มีแนวโน้มว่าเป็นสารระเหยสำคัญในการเกิดกลิ่น โดยพบสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในตะไคร้สด ดังนี้ geranial (OAV = 50,482.3), neral (OAV = 12,433.9), β-myrcene (OAV = 6,636.4), linalool (OAV = 2,518.9), geranyl acetate (OAV = 1,752.2), *trans*-geraniol (OAV = 1,581.2), caryophyllene (OAV = 573.0), citronellol (OAV = 321.9), citronellal (OAV = 192.1), α-pinene (OAV =180.6), 6-methyl-5-hepten-2-one (OAV = 29.3), nerol (OAV = 3.6) และ citronellyl acetate (OAV = 2.0)

**ใบมะกรูด (kaffir lime leaf)**

มะกรูด (kaffir lime) เป็นพืชอยู่ในสกุล (genus) Citrus, ตระกูล (family) Rutaceae และออเดอร์ (order) Sapindales โดยในสกุลนี้ประกอบไปด้วย 16 สปีชีส์ของต้นไม้และพุ่มไม้สีเขียวที่มีดอกไม้และผลไม้กลิ่นหอม ชื่อทางวิทยาศาสตร์ของมะกรูด คือ *Citrus hystrix* DC ประเทศไทยเรียกว่ามะกรูด และประเทศต่าง ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เรียกว่า ‘jeruk purut’ (อินโดนีเซีย), ‘juuk purut’ (บาหลี) และ‘limau purut’ (มาเลเซีย) ต้นมะกรูดมีขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะมีความสูง 3-5 เมตร มีดอกไม้สีขาวและมีผลสีเขียวเข้มขนาดเล็ก กว้างประมาณ 4 เซนติเมตร ห่อหุ้มด้วยผิวที่มีความขรุขระ

ใบมะกรูด (kaffir lime leaf) มีลักษณะเฉพาะของสายพันธุ์ซิตรัส และมักนำมาใช้ประโยชน์บางอย่างได้มากกว่าผลมะกรูด โดยใบมะกรูดมีสีเขียวเข้มและเงามัน ในหนึ่งใบมี 2 ส่วน จนดูเหมือนมี 2 ใบในใบเดียว โดยใบด้านบนจะมีลักษณะชี้บริเวณปลายเล็กน้อย และแนบกับขอบของใบส่วนล่างที่กว้างกว่าใบบน ขนาดของใบอาจแตกต่างกันเล็กน้อย ใบใหญ่มักมีสีเข้มกว่าใบเล็ก

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

มีข้อมูลว่าองค์ประกอบหลักทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด ได้แก่ citronellal, β-myrcene, limonene, terpinen-4-ol, citronellol, citronellyl acetate, geranial, geranial acetate, β-pinene และ neral โดยองค์ประกอบทั้งหมดนี้เป็นสารระเหยให้กลิ่นในกลุ่มของมอนอเทอร์พีน

จากการวิเคราะห์น้ำมันใบมะกรูด (*C. hystrix*) ที่เก็บจาก New Caledonia และสกัดด้วยไอน้ำ นำมาวิเคราะห์ด้วย gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) พบสารระเหย 38 ชนิด ซึ่งคิดเป็น 89 % ของส่วนประกอบทั้งหมดในน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด โดย 87 % มาจากกลุ่มของมอนอเทอร์พีน ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ terpinen-4-ol (13.0 %), β-pinene (10.9 %), α-terpineol (7.6 %), eucalyptol (1,8-cineole) (6.4 %) และ citronellol (6.0 %) (Wongpornchai, 2012) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2562ข) ได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2079-2562) ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยมีการกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการทางด้านเคมีของน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด ระบุว่าองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด ที่วิเคราะห์ด้วย gas chromatography ได้แก่ citronellal 70-85 %, citronellol 4.0-11.0 %, sabinene 2.0-5.0 % และ linalool 2.0-5.0 %

Jirapakkul et al. (2013) ได้ทำการศึกษาสารให้กลิ่นสำคัญที่พบในใบมะกรูดสด (*Citrus hystrix* D.C., Rutaceae) โดยคัดเลือกจากสารให้กลิ่นที่มีคำอธิบายกลิ่นที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นของใบมะกรูด และมีค่า $Log_3$ FD สูง 3-4 ($Log_3$ FD คือค่าการเจือจางครั้งสุดท้ายที่ผู้ทดสอบยังสามารถได้รับกลิ่นของสารระเหยนั้น ๆ เมื่อทำการศึกษาด้วยวิธี AEDA) ร่วมกับการคัดเลือกสารให้กลิ่นที่มีค่า OAV สูง ได้แก่ l-linalool ($Log_3$ FD = 4, OAV = 178,697.60), citronellal ($Log_3$ FD = 4, OAV = n.a.), caryophyllene ($Log_3$ FD = 3, OAV = 2,079), citronellol ($Log_3$ FD = 3, OAV = 1,821), β-myrcene ($Log_3$ FD = 3, OAV = 404.60), *trans*-geraniol ($Log_3$ FD = 3, OAV = 28.50), sabinene ($Log_3$ FD = 3, OAV = n.a.), nerolidol ($Log_3$ FD = 3, OAV = n.a.), citronellyl acetate ($Log_3$ FD = 2, OAV = 254.24), hexanal ($Log_3$ FD < 1, OAV = 37,460) และ limonene ($Log_3$ FD = n.a. , OAV = 11,170)

**มะนาว (lime)**

มะนาวเป็นพืชพื้นเมืองในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สกุล (genus) Citrus ชื่อวิทยาศาสตร์ของมะนาว คือ *Citrus aurantifolia* Swingle หรือ *Citrus aurantifolia* (Christm & Panz) Swing ผลมะนาวมีสีเขียว เมื่อสุกจัดจะเป็นสีเหลือง เปลือกบาง ภายในมีเนื้อแบ่งกลีบ เนื้อฉ่ำน้ำ นิยมใช้เป็นเครื่องปรุงรส มะนาวมีกลิ่นซิตรัสเป็นเอกลักษณ์ ซึ่งมาจากน้ำมันของเปลือกมะนาว มักใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม จากงานวิจัยพบว่าสารระเหยในน้ำมันมะนาวที่มีปริมาณ

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

มากที่สุด คือ limonene และยังพบสารระเหยอื่น ๆ เช่น α-terpineol, β-pinene, neral, α-pinene, β-myrcene, geranial, γ-terpineol อีกด้วย (Chisholm, Wilson, & Gaskey, 2003)

จากรายงานของ นัทธมน สุวรรณพรหม (2559) พบสารระเหยให้กลิ่นสำคัญในน้ำมะนาวคั้นสด 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ตาฮิติ แป้นรำไพ แป้นพวง และแป้นพิจิตร โดยพิจารณาจากค่า OAV มากกว่า 1 ดังนี้ d-limonene (OAV ตาฮิติ = 34.48, แป้นรำไพ = 30.47 แป้นพวง = 28.35 และแป้นพิจิตร = 10.13), terpinolene (OAV แป้นรำไพ = 62.93 แป้นพวง = 59.51 ตาฮิติ = 28.29 และแป้นพิจิตร = 4.15) และ linalool (OAV แป้นรำไพ = 128.57 แป้นพวง = 118.57 ตาฮิติ = 14.29 และแป้นพิจิตร = 4.29 )

**ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันหอมระเหย** (Turek & Stintzing, 2013)

1. แสง

แสงอุลตร้าไวโอเล็ต และแสงที่มองเห็นได้ด้วยตา (ultraviolet และ visible light) สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการกระตุ้นให้เกิดสิ่งที่เรียกว่า hydrogen abstraction ซึ่งส่งผลให้เกิดการก่อตัว alkyl radicals มีความไวในการทำปฏิกิริยาเคมี

2. อุณหภูมิ

โดยทั่วไปความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งสมการของอาร์เรเนียสแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยการเกิดออโตออกซิเดชันและการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นความร้อนจึงมีส่วนช่วยในการก่อตัวเริ่มต้นของอนุมูลอิสระ

3. ออกซิเจน

ออกซิเจนเป็นปัจจัยทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักการเสื่อมเสียของน้ำมันหอมระเหย ออกซิเจนจึงมีบทบาทสำคัญต่อความคงตัวของน้ำมันหอมระเหย

4. การปนเปื้อนโลหะ

ในขั้นตอนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยแบบดั้งเดิมหรือระหว่างการเก็บรักษา อาจมีโลหะปนเปื้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนัก เช่น ทองแดง และเหล็กไอออน ช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5. ปริมาณน้ำ

จากการศึกษาของ Kaul, Rajeswara Rao, Bhattacharya, Mallavarapu, and Ramesh (1997) พบว่าน้ำมันหอมระเหยเจอราเนียมที่ไม่มีขั้นตอนการกำจัดน้ำหลังการผลิต ถูกเก็บรักษานาน 1 ปี มีปริมาณ linalool และ geranial ลดลงมากกว่าตัวอย่างที่มีขั้นตอนการกำจัดน้ำหลังการผลิต ทั้งนี้อาจ

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

มีสาเหตุร่วมมาจากภาชนะบรรจุมีช่องว่างเหนืออาหารอยู่ถึง 50 % ความชื้นจึงถูกพิจารณาว่าเป็นปัจจัยหนึ่งของการเสื่อมเสียของน้ำมันหอมระเหย

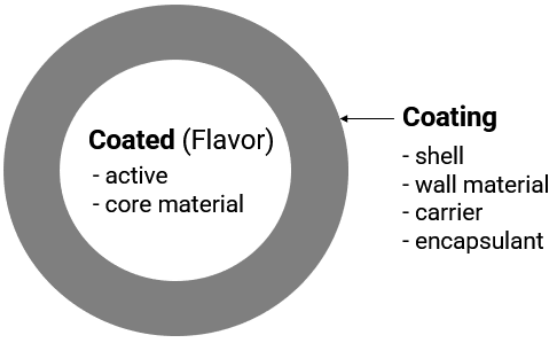
6. โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี

น้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยมอนอเทอร์พีนและเซสควิเทอร์พีนที่ไม่อิ่มตัว ทำให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

## การห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส

### เอนแคปซูเลชัน (encapsulation)

เอนแคปซูเลชัน (encapsulation) เป็นกระบวนการที่สารชนิดหนึ่งถูกเคลือบหรือถูกกักเก็บไว้ในโครงสร้างของสารอีกชนิดหนึ่ง สารที่ถูกกักเก็บไว้ภายในมีหลายชื่อเรียก เช่น สารที่ว่องไว (active agent) หรือแกน (core) ส่วนสารที่ใช้ในการห่อหุ้มเรียกว่า สารเคลือบ (coating) สารห่อหุ้ม (wall material) หรือตัวพา (carrier) (Madene et al., 2006) จึงสามารถอธิบายการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส (flavor encapsulation) ได้ว่าเป็นกระบวนการที่สารให้กลิ่นรสถูกล้อมรอบด้วยสารห่อหุ้มเพื่อให้แคปซูลขนาดเล็กที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ (Nikkola, 2016) ดังแสดงในภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** โครงสร้างของไมโครแคปซูล
**ที่มา:** Anandharamakrishnan and Ishwarya (2015)

การเอนแคปซูเลทหรือการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสสามารถรักษากลิ่นที่ดีของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา ปกป้องสารให้กลิ่นรสที่อาจทำปฏิกิริยากับส่วนผสมของอาหาร ป้องกันการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารให้กลิ่นรส ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากแสง และ/หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรส และ/หรือควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Madene et al., 2006)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

กระบวนการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน (Madene et al., 2006) ได้แก่

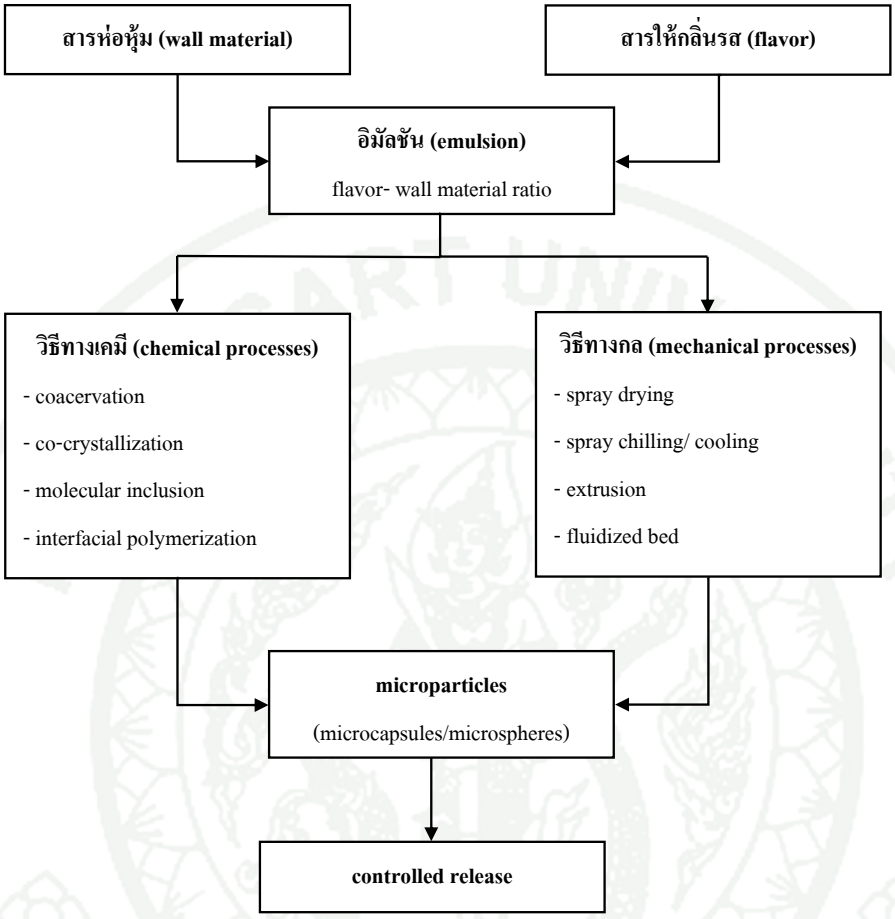
1. ขั้นตอนการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลาง (core material) กับสารละลายของสารห่อหุ้ม (wall material) เช่น น้ำมันหอมระเหยจากพืชเป็นสารแกนกลาง กับพอลิแซ็กคาไรด์หรือโปรตีนเป็นสารห่อหุ้ม
2. ขั้นตอนการทำแห้ง (drying) หรือการทำเย็น (cooling) ของอิมัลชัน

เทคนิคการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส แบ่งเป็น 2 วิธีการหลัก (Madene et al., 2006) (ภาพที่ 3) ได้แก่

1. วิธีทางเคมี (chemical processes) เช่น coacervation, co-crystallization, molecular inclusion และ interfacial polymerization
2. วิธีทางกล (mechanical processes) เช่น การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray-drying), spray chilling/ cooling, extrusion และ fluidized bed

วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray-drying) และ extrusion

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

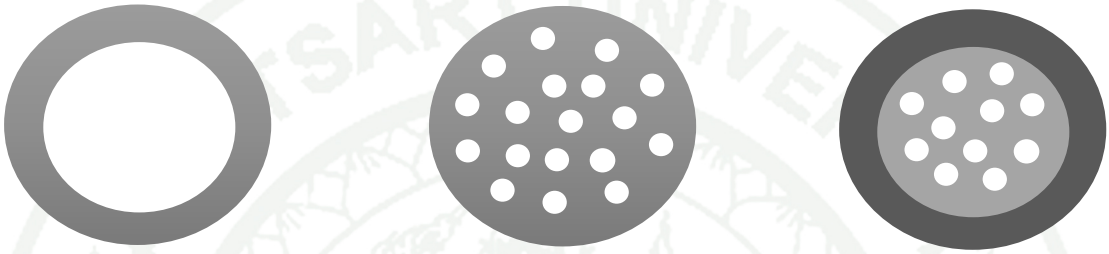



**ภาพที่ 3** แผนผังกระบวนการเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส

**ที่มา:** Madene et al. (2006)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

ชนิดของไมโครแคปซูล ที่ผลิตโดยเทคนิคเอนแคปซูเลชันแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ (ก) reservoir ได้จากการใช้เทคนิค coacervation ในการเอนแคปซูเลท (ข) matrix ได้จากการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying), spray chilling, spray cooling และ extrusion ในการเอนแคปซูเลท (ค) coated matrix ได้จากการใช้เทคนิค fluidized bed หรือ centrifuge coating ในการเอนแคปซูเลท (ภาพที่ 4)



(ก) reservoir (ข) matrix (ค) coated matrix

**ภาพที่ 4** ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน (ก) reservoir (ข) matrix และ (ค) coated matrix

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก Zuidam and Shimoni (2010)

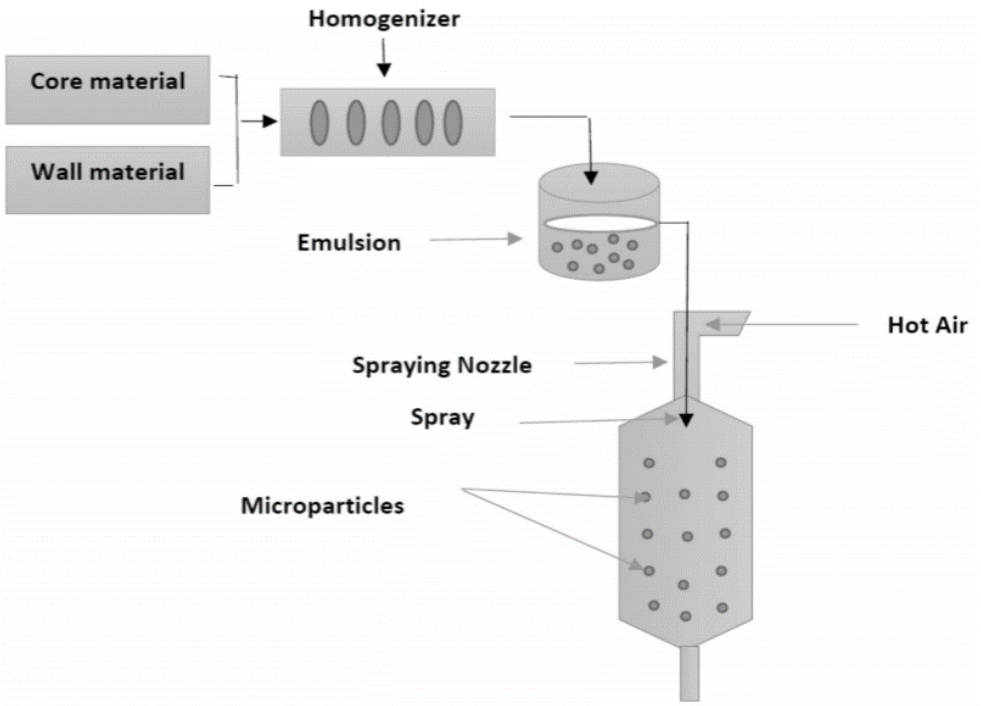
**การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)**

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลทที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส (Deis, 1997) โดยมีขั้นตอน คือการนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (wall material) เช่น สตาร์ชดัดแปร (modified starch) มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) ไฮโดรคอลลอยด์ หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการเอนแคปซูเลทมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (homogenize) เพื่อทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางซึ่งก็คือสารให้กลิ่นรส และสารห่อหุ้ม จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการอบแห้ง (ภาพที่ 5)

ข้อดีของวิธีนี้ คือ ต้นทุนการผลิตต่ำ เครื่องมือหาง่าย ได้แคปซูลที่มีคุณภาพและมีปริมาณผลผลิตสูง ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย และสารห่อหุ้มที่นำมาใช้ต้องมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง เป็นต้น การกักเก็บสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารแกนกลางและสารห่อหุ้ม อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างอบแห้ง และคุณสมบัติของสารห่อหุ้ม เช่น คุณสมบัติในการทำให้อิมัลชันที่

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

เสถียร ความสามารถในการทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของสารแกนกลาง และมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง




**ภาพที่ 5** กระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย
**ที่มา:** Mohammed et al. (2020)

**ชนิดของสารห่อหุ้ม (wall material)**

สารห่อหุ้มที่นำมาใช้ในการเอนแคปซูเลชันสำหรับอุตสาหกรรมอาหารต้องไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารที่ต้องการกักเก็บ ไม่เสียสภาพระหว่างการเก็บรักษา สามารถปกป้องสารที่ถูกกักเก็บจากสภาวะแวดล้อมและสามารถปลดปล่อยสารที่ถูกกักเก็บได้ สามารถแบ่งสารห่อหุ้มเป็น 5 ประเภท ได้แก่ (Gupta et al., 2016)

1. คาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช สตาร์ชดัดแปร มอลโตเดกซ์ทริน และไซโคลเดกซ์ทริน เป็นต้น

**มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin)**

มอลโตเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้งข้าวโพดบางส่วนโดยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ผลิตจำหน่ายในรูป dextrose equivalent (DEs) โดยค่า DE เป็นการวัดระดับ (degree) ของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถทำให้เกิดเมทริกซ์ ซึ่งมีส่วน

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

สำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว จากการศึกษาของ Bangs and Reineccius (1982) แสดงให้เห็นว่าค่า DE ของมอลโตเดกซ์ทรินมีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นรส 12 ชนิด โดยมอลโตเดกซ์ทริน DE10 สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดีที่สุด และเมื่อเพิ่มค่า DE (DE 15, 20, 25 และ 36.5) ความสามารถในการกักเก็บกลิ่นรสลดลง การศึกษาของ Yoshii et al. (2001) พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า DE ช่วยเพิ่มความคงตัวของกักเก็บกลิ่นรสระหว่างการเก็บรักษา Anandaraman and Reineccius (1986) รายงานว่าการใช้มอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE สูงห่อหุ้มน้ำมันเปลือกส้มสามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Desobry, Netto, and Labuza (1997) ที่พบว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE สูง (DE 25) สามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของ β-carotene ได้

การดัดแปลงโครงสร้างของแป้งออกบางส่วนด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส ทำให้ได้มอลโตเดกซ์ทรินที่มีความหนืดต่ำ สามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น จึงช่วยลดข้อจำกัดที่พบในแป้งตามธรรมชาติผ่านกระบวนการดังกล่าวได้ มอลโตเดกซ์ทรินมีราคาสูงกว่าแป้งตามธรรมชาติ แต่มีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ จึงนิยมนำมาใช้มากในการไมโครเอนแคปซูเลชัน แต่มอลโตเดกซ์ทรินมีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพการห่อหุ้มน้ำมันเนื่องจากขาดสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ จึงนำมาใช้ร่วมกับกัมอราบิกในการห่อหุ้มน้ำมัน อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวก็ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ (Boonsom & Dumkliang, 2018; Madene et al., 2006)

2. เซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส และเอทิลเซลลูโลส เป็นต้น
3. ไฮโดรคอลลอยด์ เช่น กัมอราบิก โซเดียมแอลจิเนท และคาราจีแนน เป็นต้น

ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) คือ พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงพอลิเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) และอาจจะเป็น polyelectrolyte อื่น ๆ ไฮโดรคอลลอยด์อาจเป็นสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือโปรตีน (protein) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลเดี่ยวมาต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่ ไฮโดรคอลลอยด์สามารถใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้หลายอย่าง เช่น สารเพิ่มความข้นหนืด (thickening agent) สารเพิ่มความคงตัว (stabilizing agent) สารก่อให้เกิดเจล (gelling agent) สารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว (emulsifier) สารทดแทนไขมันในอาหาร (fat replacer) สารยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็ง หรือผลึกน้ำตาล (crystallization inhibitor) และเป็นสารช่วยกักเก็บและควบคุมการปล่อยกลิ่นรส (flavor encapsulation) (Li & Nie, 2016)

ไฮโดรคอลลอยด์สามารถใช้เป็นสารห่อหุ้มได้ เนื่องจากเป็นสารที่สามารถรับประทานได้ สามารถสลายตัวทางชีวภาพ (biodegradable) และสามารถปกป้องสารที่อยู่ภายในจากสิ่งแวดล้อม

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

ภายนอกได้ ไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดยังมีสมบัติสำคัญ คือเป็นสารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว (emulsifier) ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีของสารห่อหุ้ม (wall material) สำหรับการทำเอนแคปซูเลชัน (ตารางที่ 4) โดยสมบัติการเป็นสารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว (emulsifier) เป็นสมบัติที่สำคัญของการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรส เนื่องจากโดยทั่วไปกระบวนการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสมักมีการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลาง (core material) เช่น น้ำมันหอมระเหยจากพืชกับสารละลายของสารห่อหุ้ม (wall material) ในที่นี้คือไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsifier) มีค่า hydrophilic lipophilic balance (HLB) ของ o/w emulsifier อยู่ในช่วง 8 ถึง16 โดยสมบัติดังกล่าวของไฮโดรคอลลอยด์จะช่วยทำให้เกิดอิมัลชันได้ดีและเสถียรขึ้นโดยไม่ต้องเติมอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นในกระบวนการนี้อีก ก่อนจะนำไปทำแห้งหรือทำเย็นเพื่อให้ได้ผงกลิ่น

**ตารางที่ 4** ไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้สำหรับไมโครเอนแคปซูเลทโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยในอุตสาหกรรมอาหาร

| ไฮโดรคอลลอยด์ | เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลท |
|---|---|
| alginate | spray drying, ionic gelation |
| guar gum | spray drying |
| gum arabic | spray drying, coacervation |
| konjac glucomannan | spray drying |
| mesquite gum | spray drying |
| pectin | spray drying, ionic gelation |

**ที่มา:** Burnside (2014)

จากการศึกษาการทำไมโครเอนแคปซูเลชันน้ำมันหอมระเหยมะกรูดโดยใช้กัมอราบิก (gum arabic) และมอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นสารห่อหุ้ม โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) พบว่ากัมอราบิกซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์มีประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยมะกรูด (encapsulation efficiency, % EE) สูงกว่ามอลโตเดกซ์ทริน (Özdemir, Azarabadi, & Topuz, 2018) น้ำมันหอมระเหยมะกรูดพบสารให้กลิ่นรสในกลุ่มเทอร์พีนมากมาย เช่น limonene, γ-terpinene, α- pinene, linalool, terpinolene และ β-myrcene นอกจากนี้ Özdemir et al. (2018) ยังพบว่ากัมอราบิกสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสกลุ่มเทอร์พีน ได้แก่ limonene, γ-terpinene และ α-pinene ได้ดีกว่ามอลโตเดกซ์ทรินในขณะที่มอลโตเดกซ์ทรินสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสกลุ่มเทอร์พีน ได้แก่ linalool, terpinolene และ β-myrcene ได้ดีกว่ากัมอราบิก กล่าวได้ว่าสารห่อหุ้มต่างชนิดกันสามารถกักเก็บเทอร์พีนแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

มีการศึกษาการใช้สารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับสารกลุ่มอื่น ๆ เพื่อห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสกลุ่มเทอร์พีน Shahidi Noghabi and Molaveisi (2020) ศึกษาการทำไมโครเอนแคปซูเลชันน้ำมันหอมระเหยอบเชยโดยใช้กัมอราบิก (gum arabic) ร่วมกับมอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นสารห่อหุ้ม โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ในน้ำมันหอมระเหยอบเชยมี cinnamaldehyde ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสกลุ่มเทอร์พีนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยพบว่าการใช้กัมอราบิกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มทำให้มีประสิทธิภาพการกักเก็บ cinnamaldehyde (encapsulation efficiency of cinnamaldehyde, % EEC) ไม่แตกต่างจากการใช้กัมอราบิกเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้ม (% EEC ของการใช้สารห่อหุ้มเป็นกัมอราบิกเพียงชนิดเดียวมีค่า 95.04 % และการใช้กัมอราบิกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินสัดส่วน 50:50 มีค่า 95.48 %) เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีราคาถูกและหาง่าย จึงถูกนำมาใช้ร่วมกับกัมอราบิกเพื่อเป็นสารห่อหุ้ม โดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพการกักเก็บ cinnamaldehyde

Ortega, Scapim, and Bergamasco (2017) ศึกษาการทำไมโครเอนแคปซูเลชันน้ำมันหอมระเหยกานพลูโดยใช้แซนแทนกัม (xanthan gum) ร่วมกับมอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นสารห่อหุ้ม โดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ในน้ำมันหอมระเหยกานพลูมี caryophyllene ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสกลุ่มเทอร์พีนเป็นองค์ประกอบหลัก พบว่าการเติมแซนแทนกัมในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยกานพลู (encapsulation efficiency, % EE) มอลโตเดกซ์ทรินมักถูกใช้เป็นสารห่อหุ้ม แม้ว่ามีข้อจำกัด คือ ขาดสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ จึงนิยมใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันหอมระเหย

**กัมอราบิก (gum arabic)**

กัมอราบิก (gum arabic) คือ กัมที่ได้จากยางพืช (exudate gum) อยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่หลั่งออกมาจากกิ่งก้านของพืชในกลุ่มอคาเซีย เช่น *Acacia senegal*, *Acacia seyal* ที่พบในแถบทวีปแอฟริกา จากคุณสมบัติของกัมอราบิกที่สามารถละลายน้ำได้ดี มีความหนืดต่ำเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นสูง ทำให้สามารถใช้ที่ความเข้มข้นสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันสูงขึ้น มีคุณสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ จึงสามารถนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในการทำเอนแคปซูเลชันน้ำมันจำนวนมาก เช่น การเอนแคปซูเลชันน้ำมันโรสแมรี การเอนแคปซูเลชันน้ำมันออริกาโน เป็นต้น และมักนำกัมอราบิกมาเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้การผสมกันของมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้ม ได้อนุภาคขนาด 10-200 ไมครอน และสามารถกักเก็บกลิ่นรสได้มากกว่าร้อยละ 80 ขึ้นกับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

แบบพ่นฝอย แต่กัมอราบิกเองมีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณการผลิต เนื่องจากเป็นสารที่ผลิตจากพืช มีราคาค่อนข้างสูง และไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย (Boonsom & Dumkliang, 2018)

4. ไขมัน เช่น พาราฟิน น้ำมัน และไขมัน เป็นต้น
5. โปรตีน เช่น กลูเตน เคซีน และเจลาติน เป็นต้น

โดยทั่วไปสารห่อหุ้มที่นิยมใช้สำหรับไมโครเอนแคปซูเลทโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต สำหรับสารที่นิยมใช้ในการห่อหุ้มน้ำมันและสารแต่งกลิ่น ได้แก่ กัมอราบิก ซึ่งเป็นสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (Boonsom & Dumkliang, 2018) จากการศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันตะไคร้ด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิก (Thuong Nhan et al., 2020) การศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันเลมอนด้วยกัมอราบิก (Kausadikar, Gadhave, & Waghmare, 2015) การศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันมะนาวด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิก (Bringas-Lantigua, Valdés, & Pino, 2012) และการศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันมะกรูดด้วยกัมอราบิกร่วมกับ Konjac glucomannan (Adamiec et al., 2012) จะเห็นได้ว่ากัมอราบิกเป็นที่นิยมใช้เป็นสารห่อหุ้ม เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการในกักเก็บน้ำมันและสารแต่งกลิ่น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการใช้กัมอราบิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำในผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาความคงตัวของผงแห้งกลิ่นต้มยำดังกล่าว

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# อุปกรณ์และวิธีการ

## อุปกรณ์

**1. วัตถุดิบ**

1.1. น้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil), บริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด

1.2. มอลโตเดกทรินซ์ (maltodextrin, MD) DE10, food grade บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

1.3. กัมอารบิก (gum arabic, GA), food grade บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

**2. สารเคมี**

2.1. 99 % n-hexane, HPLC grade (RCI Labscan, ประเทศไทย)

2.2. methanol, HPLC grade (RCI Labscan, ประเทศไทย)

2.3. 99 % n-pentane, HPLC grade (RCI Labscan, ประเทศไทย)

2.4. สารมาตรฐาน (internal standard) 2-methyl-3-heptanone, 98 % (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.5. สารมาตรฐาน n-alkanes (hydrocarbons, $C_6$-$C_{30}$) (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.6. สารมาตรฐานของสารระเหยให้กลิ่น

- citral, 95 % mixture of *cis* and *trans* (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- (±)-citronellal, 96 % (Alfa Aesar, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- eucalyptol (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- linalool (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

**3. เครื่องมือและอุปกรณ์**

3.1. เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (homogenizer) พร้อมหัวปั่นขนาดเล็ก รุ่น Ultra-Turrax T25 (IKA, ประเทศเยอรมนี)

3.2. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยระดับห้องปฏิบัติการ (mini spray dryer) รุ่น B-290 (Buchi, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

3.3. gas chromatography รุ่น 7890A (Agilent Technology Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ประกอบเข้ากับ time-of-flight mass spectrometer (GC-ToFMS) รุ่น Pegasus 4D (Leco Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

3.4. gas chromatography รุ่น 7890 (Agilent Technology Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ประกอบเข้ากับ sniffing port (DATU technology transfer, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (humidity and temperature incubator) รุ่น KMF E6 (Binder, ประเทศเยอรมนี)

3.6. เครื่องวัดสี (colorimeter) รุ่น UltraScan Pro Color Measurement Spectrophotometer (Hunter Lab, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.7. เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) รุ่น 4TE (Aqualab, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.8. เครื่องหมุนเหวี่ยงตะกอน (refrigerated centrifuge) รุ่น Sorvall RC 6 Plus Superspeed Centrifuge (Thermo Scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา) พร้อม Rotor รุ่น Sorvall SM-24 (Thermo Scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.9. เครื่องอัลตร้าโซนิค (sonicator) รุ่นมาตรฐาน (ISOLAB Laborgeräte GmbH, ประเทศเยอรมนี)

3.10. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) รุ่น UFB 400 (Memmert, ประเทศเยอรมนี)

3.11. เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) รุ่น Genies 2 (Scientific Industries, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.12. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (hotplate stirrer) รุ่น C-MAG HS 7 (IKA, ประเทศเยอรมนี)

3.13. เครื่องดูดจ่ายสารละลายไมโครปิเปต (micropipette) ขนาด 100-1000 ไมโครลิตร รุ่น AP-1000 (Axygen Scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.14. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (balance) รุ่น JS1203C (Mettler Toledo, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

3.15. ตู้แช่เยือกแข็ง (freezer) อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส รุ่น SF-C1497 (GYN) (Sanyo, ประเทศญี่ปุ่น)

3.16. SPME fiber assembly, divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS) ชั้นเคลือบหนา 30 ไมโครเมตร (CAR/PDMS layer) และ 50 ไมโครเมตร (DVB layer), needle size 24 ga สำหรับใช้กับ autosampler เครื่อง GC (Supelco, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.17. manual syringe สำหรับ GC ขนาด 10 ไมโครลิตร (Agilent, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.18. splitless liner สำหรับ GC (Agilent, ประเทศออสเตรเลีย)

3.19. SPME liner (Restek, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

3.20. GC capillary column รุ่น Stabilwax-MS ขนาด 30 m × 0.25 mm ID × 0.25 µm (Restek, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.21. GC capillary column รุ่น Rxi-5ms ขนาด 30 m × 0.25 mm ID × 0.25 µm (Restek, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.22. GC capillary column รุ่น Innowax ขนาด 30 m × 0.25 mm ID × 0.25 µm (Agilent, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.23. หลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) เนื้อพลาสติก PPCO ขนาด 16 มิลลิลิตร (Nalgene, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.24. ภาชนะหาความชื้น (moisture can) ขนาด 5 ออนซ์

3.25. โถดูดความชื้น (desiccator) (Duran, ประเทศเยอรมนี)

3.26. เครื่องแก้ว และอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

## วิธีการ

**1. การศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ**

**1.1. การเตรียมตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ**

ชั่งน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ 0.08 กรัม ที่เตรียมจากการผสมน้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) อัตราส่วน 1:1:1:1 ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตตัวอย่างในขวดปรับปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำมาปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมสารมาตรฐาน internal standard (2-methyl-3-heptanone 1.1270 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล) 50 ไมโครลิตร ก่อนนำไปวิเคราะห์

**1.2. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ**

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่ได้จากข้อ 1.1. จำนวน 1 ไมโครลิตร ด้วยเครื่อง gas chromatography รุ่น 7890A (Agilent Technology Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ประกอบเข้ากับ time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS) รุ่น Pegasus 4D (Leco Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยมีสภาวะวิเคราะห์ดังนี้ ฉีดตัวอย่างด้วยวิธี splitless mode ความร้อนที่ injection port 250 องศาเซลเซียส ใช้ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 % เป็นแก๊สพา (carrier gas) ด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 1 มิลลิลิตร/นาที แยกสารด้วยคอลัมน์มีขั้วแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ Stabilwax-MS ความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร (Restek, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ร่วมกับการใช้คอลัมน์ Rxi-5ms ความยาว 30 เมตร

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร (Restek, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยตั้งอุณหภูมิตู้อบเริ่มต้น 35 องศาเซลเซียส คงไว้นาน 5 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวนาน 10 นาที

บ่งชี้ชนิดของสารระเหยด้วย time-of-flight mass spectrometer (ToFMS) มีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 70 อิเล็กตรอนโวลท์ ช่วงในการสแกน 30-300 m/z อัตราเร็วในการเก็บข้อมูล (acquisition rates) 20 สเปกตรา/วินาที ระบุชนิดของสารระเหยโดยการเปรียบเทียบข้อมูล mass spectrum ของสารระเหยแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล NIST MS search 2.0 ร่วมกับการเปรียบเทียบค่า retention index (RI) ของสารแต่ละชนิดที่คำนวณได้กับค่า RI อ้างอิง โดยคำนวณค่า RI จาก retention time (RT) ของสารมาตรฐาน n-alkanes (hydrocarbons, $C_6$-$C_{30}$) (Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่วิเคราะห์ในสภาวะเดียวกันกับตัวอย่าง ดังสมการที่ 1

$$RI = 100n + 100(m - n)\frac{t_x - t_n}{t_m - t_n} \quad \text{---------- (1)}$$

เมื่อ RI = retention index ของสารระเหย

m = จำนวนคาร์บอนอะตอมในสารมาตรฐาน n-alkanes ที่มีคาร์บอนมากกว่า

n = จำนวนคาร์บอนอะตอมในสารมาตรฐาน n-alkanes ที่มีคาร์บอนน้อยกว่า

$t_x$ = RT ของตัวอย่างสารระเหยที่ต้องการวิเคราะห์ค่า RI

$t_n$ = RT ของสารมาตรฐาน n-alkanes ที่มีคาร์บอนน้อยกว่า

$t_m$ = RT ของสารมาตรฐาน n-alkanes ที่มีคาร์บอนมากกว่า

ปริมาณสารระเหยแต่ละชนิดคำนวณโดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคของสารนั้น ๆ กับพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐาน internal standard ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ดังสมการที่ 2 และรายงานเป็นความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารนั้น ๆ ต่อน้ำหนักตัวอย่าง (ไมโครกรัมต่อกรัม; ppm)

$$C_S = \frac{C_I \times A_S \times V_I \times r}{A_I \times W_S} \quad \text{---------- (2)}$$

เมื่อ $C_S$ = ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของตัวอย่าง (ไมโครกรัม/กรัมตัวอย่าง; ppm)

$C_I$ = ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน internal standard (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล)

$A_S$ = พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่าง

$V_I$ = ปริมาตรของสารมาตรฐาน internal standard ที่ใช้ (ไมโครลิตร)

$A_I$ = พื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐาน internal standard

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

$W_S$ = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

r = response factor โดยกำหนดให้ r ของสารระเหยซึ่งไม่มีสารมาตรฐาน แทนค่าเป็น 1.0

**1.3. การคัดเลือกสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ**

คัดเลือกสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำจากองค์ประกอบที่สำคัญที่มีในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ได้แก่ น้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) ร่วมกับเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ

**2. การศึกษาผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย**

**2.1. การเตรียมผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย**

**2.1.1. การเตรียมอิมัลชัน**

เตรียมอิมัลชันปริมาตร 200 มิลลิลิตร โดยมีสัดส่วนระหว่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำกับสารห่อหุ้มเท่ากับ 1:4 (w/w) สารห่อหุ้มที่ใช้ ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin, MD) DE10 และกัมอราบิก (gum arabic, GA) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3 เตรียมสารละลายสารห่อหุ้มในน้ำกลั่นความเข้มข้น 20 % w/v เติมน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ที่ได้จากการผสมน้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) อัตราส่วน 1:1:1:1 ลงในสารละลายสารห่อหุ้ม และทำให้เป็นอิมัลชันด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (homogenizer) พร้อมหัวปั่นขนาดเล็ก รุ่น Ultra-Turrax T25 (IKA, ประเทศเยอรมนี) โดยใช้ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 5 นาที (ดัดแปลงจาก de Barros Fernandes et al., 2016)

**2.1.2. การอบแห้งแบบพ่นฝอย**

นำอิมัลชันที่ได้เข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยระดับห้องปฏิบัติการ (mini spray dryer) รุ่น B-290 (Buchi, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) หัวฉีดแบบ two-fluid nozzle ตั้งค่าอุณหภูมิขาเข้า 170 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก 90-110 องศาเซลเซียส pump 25 %, aspirator 100 % และ nozzle cleaner เท่ากับ 4 (ดัดแปลงจาก de Barros Fernandes et al., 2016) ได้เป็นผงแห้งกลิ่นต้มยำ

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**2.2. การวิเคราะห์ผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย**

**2.2.1. การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต (% yield)**

ชั่งน้ำหนักผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากข้อ 2.1.2. คำนวณปริมาณผลผลิต โดยใช้สมการที่ 3

$$\text{ร้อยละปริมาณผลผลิต (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย (กรัม)}}{\text{น้ำหนักสารห่อหุ้มที่ใช้ (กรัม)} + \text{น้ำหนักน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่ใช้ (กรัม)}} \times 100 \text{ ----- (3)}$$

**2.2.2. การวิเคราะห์ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำ**

นำผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากข้อ 2.1.2. มาชะสารระเหยที่อยู่บริเวณผิวออกด้วยเฮกเซน โดยใช้สัดส่วนเฮกเซนต่อผงแห้งกลิ่นต้มยำเท่ากับ 40 มิลลิลิตร:1 กรัม กวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก แล้วระเหยตัวทำละลายออกภายในตู้ดูดควัน ชั่งน้ำหนักผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้ 0.01 กรัม มาเติม deodorized water 50 มิลลิลิตร จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กให้ละลาย ดูดสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วปริมาตร 20 มิลลิตร เติม deodorized water เพื่อปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร และเติมสารมาตรฐาน internal standard (2-methyl-3-heptanone 0.0575 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล) 10 ไมโครลิตร ทำการปิดผนึกด้วยฝาชนิด PTFE/silicone septa เพื่อให้เกิดระบบปิด วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) โดยนำตัวอย่างข้างต้นมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างสารตัวอย่างกับไอของสารในบริเวณ headspace แล้วทำการ adsorption ด้วยไฟเบอร์ชนิด DVB/CAR/PDMS เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไป desorption ที่เครื่อง gas chromatography รุ่น 7890A (Agilent Technology Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ประกอบเข้ากับ time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS) รุ่น Pegasus 4D (Leco Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ด้วยความร้อนที่ injection port 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แยกสารโดยใช้คอลัมน์ Stabilwax-MS ตั้งค่าอัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม และสภาวะอุณหภูมิของตู้อบ เช่นเดียวกับข้อ 1.2.

บ่งชี้ชนิดของสารระเหยด้วย time-of-flight mass spectrometer (ToFMS) จากนั้นระบุชนิดของสารระเหย และคำนวณปริมาณสารระเหยตามวิธีเดียวกับข้อ 1.2.

**2.2.3. การวิเคราะห์ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ**

นำผงแห้งกลิ่นต้มยำจากข้อ 2.1.2. มาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter) รุ่น UltraScan Pro Color Measurement Spectrophotometer (Hunter Lab, ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานผลค่าสีในระบบ L* a* b* เมื่อ L* ใช้บ่งบอกถึงความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว), a* ใช้บ่งบอกตั้งแต่สีแดง (+a*) จนถึงสีเขียว (-a*) และ b* ใช้บ่งบอกตั้งแต่สีเหลือง (+b*) จนถึงสีน้ำเงิน (-b*)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**2.2.4. การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ**

นำผงแห้งกลิ่นต้มยำจากข้อ 2.1.2. มาวัดค่าปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) รุ่น 4TE (Aqualab, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

**3. การศึกษาความคงตัวของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยในช่วงการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง**

**3.1. การเก็บรักษาตัวอย่างผงแห้งกลิ่นต้มยำและน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่สภาวะเร่ง**

เตรียมตัวอย่างผงแห้งกลิ่นต้มยำที่คัดเลือกจากสัดส่วนของสารห่อหุ้มที่เหมาะสมที่สุด (MD:GA = 1:2) โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.1 นำผงแห้งกลิ่นต้มยำดังกล่าวปริมาณ 3 กรัม ใส่ในขวดสีชา (amber vial) ขนาด 20 มิลลิลิตร เติมแก๊สไนโตรเจนเข้าไปแทนที่อากาศเหนือตัวอย่างผงแห้งกลิ่นต้มยำในขวดสีชาก่อนปิดฝาให้สนิท

เตรียมตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำโดยการผสมน้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) อัตราส่วน 1:1:1:1 จากนั้นใช้เครื่องดูดจ่ายสารละลายไมโครปิเปต (micropipette) แบ่งตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในในขวดสีชาขนาด 2 มิลลิลิตร เติมแก๊สไนโตรเจนเข้าไปแทนที่อากาศเหนือตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำในขวดสีชาก่อนปิดฝาให้สนิท

นำขวดสีชาที่บรรจุผงแห้งกลิ่นต้มยำ และขวดสีชาที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (humidity and temperature incubator) รุ่น KMF E6 (Binder, ประเทศเยอรมนี) ตั้งค่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 40 วัน (ดัดแปลงจาก Soottitantawat et al., 2005)

- สุ่มผงแห้งกลิ่นต้มยำและน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ วันที่ 0, 15, 30 และ 40 ของการเก็บรักษา นำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ด้วยเครื่อง GC-ToFMS
- สุ่มผงแห้งกลิ่นต้มยำ วันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษา นำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะกลิ่น (odor description) ด้วยเครื่อง GC-O
- สุ่มผงแห้งกลิ่นต้มยำ วันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษา นำไปวิเคราะห์ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) และค่าปริมาณความชื้น (moisture content)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**3.2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ระหว่างผงแห้งกลิ่นต้มยำกับน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่ง**

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่ง โดยนำตัวอย่างผงแห้งกลิ่นต้มยำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย สุ่มตัวอย่างผงแห้งกลิ่นต้มยำปริมาณ 0.08 กรัม ใส่หลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) เติม deodorized water 3 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิทก่อนนำไปเขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) นาน 3 นาที จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิค (sonicator) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เติมเฮกเซน 2 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) นาน 3 นาที และหมุนเวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงตะกอน (refrigerated centrifuge) รุ่น Sorvall RC 6 Plus Superspeed Centrifuge (Thermo Scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ค่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แรงหนีศูนย์กลางสัมพัทธ์ 1,400 xg นาน 5 นาที แยกส่วนน้ำมันออกมา ทำการสกัดซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนการเติมเฮกเซนรวม 4 รอบ นำตัวอย่างส่วนน้ำมันที่แยกได้ทั้งหมดมาปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร (ดัดแปลงจาก Sosa, Zamora, Chirife, & Schebor, 2011) และนำมาเติมสารมาตรฐาน internal standard (2-methyl-3-heptanone 1.1270 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล) 50 ไมโครลิตร จากนั้นฉีดตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร ด้วยวิธี splitless mode ที่เครื่อง GC-ToFMS เช่นเดียวกับข้อ 1.2. โดยใช้คอลัมน์ Stabilwax-MS ในการแยกสาร

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่ง โดยนำตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ มาเจือจางด้วยวิธีการเดียวกับข้อ 1.1. จากนั้นฉีดตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร ด้วยวิธี splitless mode ที่เครื่อง GC-ToFMS เช่นเดียวกับข้อ 1.2. โดยใช้คอลัมน์ Stabilwax-MS ในการแยกสาร

**3.3. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะกลิ่น (odor description) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่ง**

สกัดผงแห้งกลิ่นต้มยำด้วยตัวทำละลาย โดยใช้วิธีการเดียวกับข้อ 3.2. นำตัวอย่างที่สกัดได้มาวิเคราะห์ลักษณะกลิ่น (odor description) ของสารระเหยให้กลิ่นที่พบในผงแห้งกลิ่นต้มยำ โดยคัดเลือกผู้ทดสอบที่มีความสามารถในการแยกแยะและอธิบายคุณลักษณะของกลิ่น จำนวน 3 คน ฉีดตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร ด้วยวิธี splitless mode ที่เครื่อง gas chromatography-olfactometry (GC-O) ตรวจจับสารที่ออกจากคอลัมน์ด้วย flame ionization detector (FID) และ sniffing port ความร้อนที่ injection port 250 องศาเซลเซียส ใช้แก๊สฮีเลียมบริสุทธิ์ 99.999 % เป็นแก๊สพา (carrier

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

gas) ที่อัตราการไหลคงที่ 1 มิลลิลิตร/นาที แยกสารโดยใช้คอลัมน์ Innowax ความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร (Agilent, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ตั้งอุณหภูมิตู้อบเริ่มต้น 35 องศาเซลเซียส คงไว้นาน 5 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียส/นาที จนถึงอุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวนาน 10 นาที ผู้ทดสอบจะดมกลิ่นของสารระเหยผ่านทาง sniffing port โดยสุ่มลำดับการดม และอธิบายลักษณะกลิ่นของสารที่มี retention time ต่าง ๆ

เปรียบเทียบค่า RI ของสารระเหยที่ให้กลิ่นกับค่า RI ที่ได้จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำด้วย GC-ToFMS จากข้อ 1.2. (RI-retention index) เปรียบเทียบลำดับสารระเหยที่ให้กลิ่นที่ออกจากคอลัมน์ กับลำดับสารที่ออกจากคอลัมน์จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำด้วย GC-ToFMS จากข้อ 1.2. (MS-mass spectrometry) เปรียบเทียบค่า retention time (RT) ของสารมาตรฐานที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการเดียวกันกับตัวอย่าง (AC-authentic compound) ร่วมกับการเปรียบเทียบลักษณะกลิ่นที่ได้จากการดมสารระเหยผ่านทาง sniffing port กับลักษณะกลิ่นที่ได้จากฐานข้อมูล (odor description) เพื่อระบุชนิดสารให้กลิ่น

**3.4. การวิเคราะห์ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) และค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บที่สภาวะเร่ง**

นำตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ มาวัดค่าสีโดยใช้วิธีเดียวกันกับข้อ 2.2.3. วัดค่าปริมาณน้ำอิสระโดยใช้วิธีเดียวกันกับข้อ 2.2.4. และวัดค่าปริมาณความชื้น โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างผงแห้งกลิ่นต้มยำ 2 กรัม ในภาชนะหาความชื้น (moisture can) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ตั้งค่าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น (desiccator) ปล่อยทิ้งไว้จนอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง อบซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม คำนวณปริมาณความชื้น โดยใช้สมการที่ 4 (AOAC International, 1990)

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100 \text{ ---------- (4)}$$

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**4. การวิเคราะห์ทางสถิติ**

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS version 17.0 (SPSS Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา)

**5. สถานที่ทำการทดลอง**

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**6. ระยะเวลาในการทดลอง**

การทดลองเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 สิ้นสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

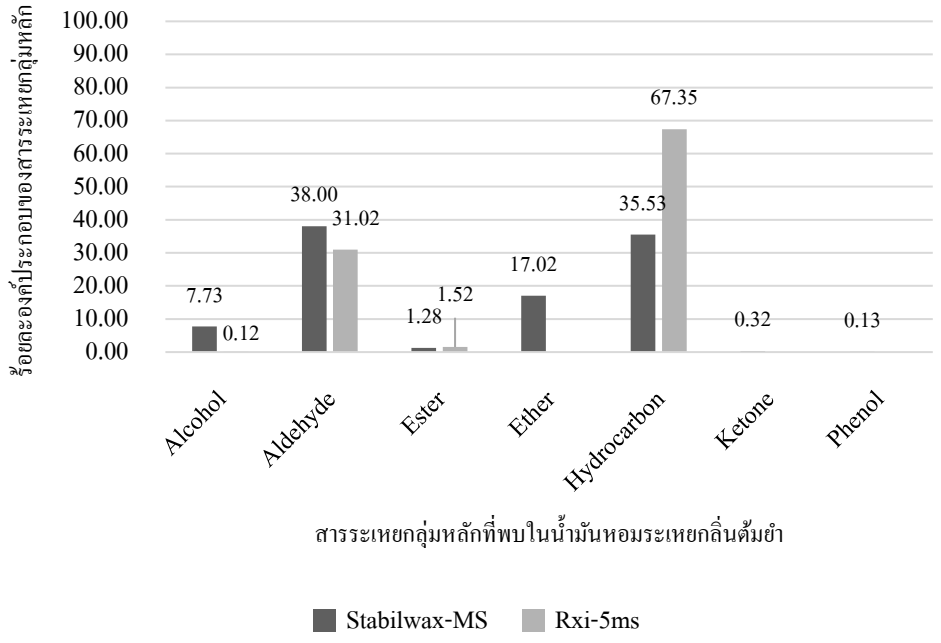
# ผลและวิจารณ์

## 1. การศึกษาชนิดและปริมาณสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ

### 1.1. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ที่เตรียมจากการผสมน้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) อัตราส่วน 1:1:1:1 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ToFMS พบสารระเหยจำนวน 42 ชนิด จากการแยกสารด้วยคอลัมน์มีขั้วแตกต่างกัน 2 ชนิด ซึ่งสารระเหยส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มเทอร์พีน ประกอบไปด้วย monoterpene จำนวน 27 ชนิด ซึ่งเป็น acyclic monoterpene จำนวน 12 ชนิด และ cyclic monoterpene จำนวน 15 ชนิด เป็น sesquiterpene จำนวน 10 ชนิด ซึ่งเป็น acyclic sesquiterpene จำนวน 3 ชนิดและ cyclic sesquiterpene จำนวน 7 ชนิด นอกจากนี้ยังพบสารระเหยในกลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ คีโตน และฟีนอล จำนวน 5 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 6

จากภาพที่ 6 แสดงกลุ่มของสารระเหยทั้งหมดที่พบในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ได้แก่ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ อีเทอร์ ไฮโดรคาร์บอน คีโตน และฟีนอล วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์รุ่น Stabilwax-MS และ Rxi-5ms




**ภาพที่ 6** ร้อยละองค์ประกอบของสารระเหยกลุ่มหลักที่พบในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**1.2. การคัดเลือกสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ**

เกณฑ์การคัดเลือกสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำต้องเป็นไปตามข้อใดหนึ่ง ดังนี้

1.2.1. เป็นองค์ประกอบหลัก (principal constituent) ของน้ำมันหอมระเหยข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) ที่ใช้ในการผลิตผงแห้งกลิ่นต้มยำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562ก, 2562ข) ร่วมกับข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันหอมระเหย (specification) ของบริษัทผู้ผลิต (บริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด) ดังแสดงในภาคผนวก ก และเป็นสารให้กลิ่นสำคัญของวัตถุดิบหลักชนิดใดชนิดหนึ่งในการทำต้มยำ ตามเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ (Jirapakkul et al., 2013; Kubota et al., 1999; นัทธมน สุวรรณพรหม, 2559; พิชามญชุ์ สว่างสุข และ วรรณี จิรภาคย์กุล, 2550)

1.2.2. เป็นสารให้กลิ่นสำคัญของวัตถุดิบหลักชนิดใดชนิดหนึ่งในการทำต้มยำ ตามเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ (Jirapakkul et al., 2013; Kubota et al., 1999; นัทธมน สุวรรณพรหม, 2559; พิชามญชุ์ สว่างสุข และ วรรณี จิรภาคย์กุล, 2550) และเป็นสารระเหยให้กลิ่นสำคัญของสารสกัดให้กลิ่นรสต้มยำ ตามเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ (สุมิตรา บุญบำรุง, 2549)

พบสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) จำนวน 12 ชนิด ที่เป็นไปตามเกณฑ์ดังกล่าว ได้แก่ caryophyllene, citronellal, eucalyptol, geranial, linalool, citronellol, β-myrcene, neral, geranyl acetate, limonene, α-pinene และ terpinolene ซึ่งสามารถจำแนกระดับความสำคัญของสารดังกล่าวตามค่า odor activity value (OAV) 3 ระดับ ได้แก่ ระดับสูง (OAV = 7,000-100,000) ระดับกลาง (OAV = 1,000-6,800) และระดับต่ำ (OAV < 600) (สุมิตรา บุญบำรุง, 2549) ดังแสดงในตารางที่ 5

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 5** สารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ตามเกณฑ์การคัดเลือกจำนวน 12 ชนิด

| **สารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ** | | |
|---|---|---|
| **ระดับสูง (OAV 7,000-100,000)** | **ระดับกลาง (OAV 1,000-6,800)** | **ระดับต่ำ (OAV < 600)** |
| 1. caryophyllene* | 6. citronellol | 9. geranyl acetate |
| 2. citronellal | 7. β-myrcene | 10. limonene |
| 3. eucalyptol | 8. neral | 11. α-pinene |
| 4. geranial | | 12. terpinolene |
| 5. linalool | | |

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก Jirapakkul et al. (2013); Kubota et al. (1999); นัทธมน สุวรรณพรหม (2559); พิชามญชุ์ สว่างสุข และ วรรณี จิรภาคย์กุล (2550); สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2562ก, 2562ข); สุมิตรา บุญบำรุง (2549) ร่วมกับข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันหอมระเหยของบริษัทผู้ผลิต (ภาคผนวก ก)

**หมายเหตุ** * caryophyllene มีค่า OAV < 600 แต่เป็นองค์ประกอบหลัก (principal constituent) ตามข้อกำหนดคุณภาพสินค้า (specification) ของน้ำมันหอมระเหยข่า (galanga oil) ซึ่งใช้ในการผลิตผงแห้งกลิ่นต้มยำ แสดงในภาคผนวก ก จึงจัดอยู่ในกลุ่มสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำระดับสูง

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 6** ชนิดและปริมาณสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS)

| ที่ | สารระเหย | ลักษณะกลิ่น[a] | RI[b] | | ร้อยละองค์ประกอบ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Stabilwax-MS | Rxi-5ms | Stabilwax-MS | Rxi-5ms |
| | **ACYCLIC MONOTERPENES and derivatives** | | | | | |
| | **Alcohols** | | | | | |
| 1 | linalool | flower, lavender, citrus, floral, sweet, bois de rose, woody, green, blueberry | 1532 | 1112 | 0.96 | 0.12 |
| 2 | citronellol | rose, floral, leather, waxy, rosebud, citrus | >1700 | ND | 1.50 | ND |
| 3 | geraniol | rose, geranium, sweet, floral, fruity, waxy, citrus | >1700 | ND | 0.43 | ND |
| | **Aldehydes** | | | | | |
| 4 | citronellal | fat, sweet, dry, floral, herbal, waxy, aldehydic, citrus | 1440 | ND | 17.63 | ND |
| 5 | neral | lemon, sweet, citral, lemon peel | 1659 | 1248 | 6.71 | 5.74 |
| 6 | geranial | lemon, mint, sweet, floral, fruity, rose, waxy, citrus | >1700 | 1281 | 13.66 | 8.53 |
| 7 | (R)-(+)-citronellal | fresh, herbal, citrus | ND | 1154 | ND | 16.75 |
| | **Esters** | | | | | |
| 8 | citronellyl acetate | rose, dust, floral, green, fruity, citrus, woody, tropical, fruit | 1644 | ND | 0.42 | ND |
| 9 | geranyl acetate | rose, floral, lavender, green, waxy | >1700 | ND | 0.81 | ND |
| | **Hydrocarbons** | | | | | |
| 10 | *trans*-β-ocimene | sweet, herbal | 1224 | ND | 0.13 | ND |
| 11 | β-ocimene | herbal, citrus, tropical, green, terpene, woody, green | 1240 | ND | 0.32 | ND |
| 12 | β-myrcene | balsamic, must, spice, terpenic, herbal, woody, rose, celery, carrot, peppery, spicy, plastic | ND | 992 | ND | 1.85 |



Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 6 (ต่อ)**

| ที่ | สารระเหย | ลักษณะกลิ่น[a] | RI[b] | | ร้อยละองค์ประกอบ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Stabilwax-MS | Rxi-5ms | Stabilwax-MS | Rxi-5ms |
| | **CYCLIC MONOTERPENES and derivatives** | | | | | |
| | **Alcohols** | | | | | |
| 13 | verbenol | fresh, pine, ozone | 1555 | ND | 0.51 | ND |
| 14 | α-terpineol | oil, anise, mint, pine, terpene, lilac, citrus, woody, floral | 1674 | ND | 2.56 | ND |
| 15 | isopregol | minty, cooling, medicinal, woody, green, grassy, herbal | 1540 | ND | 0.31 | ND |
| 16 | isopulegol | minty, cooling, medicinal, woody | 1548 | ND | 0.50 | ND |
| 17 | terpinen-4-ol | turpentine, nutmeg, must, pepper, woody, earth, sweet | 1580 | ND | 0.62 | ND |
| | **Ethers** | | | | | |
| 18 | isocineole | spice, cooling, pine, minty, camphor, terpene, green | 1162 | ND | 0.35 | ND |
| 19 | eucalyptol | mint, sweet, eucalyptus, herbal, camphor, medicinal | 1189 | ND | 16.67 | ND |
| | **Hydrocarbons** | | | | | |
| 20 | sabinene | pepper, turpentine, woody, terpene, citrus, pine, spice | 1108 | ND | 0.87 | ND |
| 21 | α-pinene | pine, turpentine, fresh, camphor, sweet, earthy, woody | 1012 | 929 | 1.46 | 0.91 |
| 22 | β-pinene | pine, resin, turpentine, dry, woody, hay, green | 1091 | 971 | 2.09 | 2.11 |
| 23 | α-terpinene | lemon, woody, terpene, herbal, medicinal, citrus | 1165 | 1014 | 0.42 | 0.84 |
| 24 | limonene | lemon, orange, citrus, herbal, terpene, camphor | 1184 | 1027 | 20.47 | 43.48 |
| 25 | γ-terpinene | gasoline, turpentine, oily, woody, terpene, lemon/lime, tropical, herbal | 1230 | 1058 | 4.46 | 5.06 |
| 26 | o-cymene | - | 1252 | ND | 1.20 | ND |
| 27 | terpinolene | fresh, woody, sweet, pine, citrus | 1262 | 1088 | 2.67 | 3.12 |

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 6 (ต่อ)**

| ที่ | สารระเหย | ลักษณะกลิ่น[a] | RI[b] | | ร้อยละองค์ประกอบ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Stabilwax-MS | Rxi-5ms | Stabilwax-MS | Rxi-5ms |
| | **ACYCLIC SESQUITERPENES and derivatives** | | | | | |
| | **Hydrocarbons** | | | | | |
| **28** | *cis*, *trans*-α-farnesene | - | 1566 | ND | 0.67 | ND |
| **29** | *cis*-β-farnesene | citrus, green | 1651 | ND | 0.54 | ND |
| **30** | (E)-β-farnesene | woody, citrus, herbal, sweet | ND | 1509 | ND | 1.90 |
| | **CYCLIC SESQUITERPENES and derivatives** | | | | | |
| | **Hydrocarbons** | | | | | |
| **31** | caryophyllene | woody, spice, sweet, clove, dry | 1571 | ND | 0.23 | ND |
| **32** | β-elemene | herbal, waxy, fresh | ND | 1392 | ND | 0.87 |
| **33** | *cis*-caryophyllene | woody, spice | ND | 1419 | ND | 2.53 |
| **34** | γ-elemene | green, woody, oil | ND | 1433 | ND | 0.50 |
| **35** | humulene | woody | ND | 1455 | ND | 1.45 |
| **36** | α-selinene | amber | ND | 1487 | ND | 1.27 |
| **37** | γ-gurjunene | musty | ND | 1496 | ND | 1.46 |

**ตารางที่ 6 (ต่อ)**

| ที่ | สารระเหย | ลักษณะกลิ่น[a] | RI[b] | | ร้อยละองค์ประกอบ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Stabilwax-MS | Rxi-5ms | Stabilwax-MS | Rxi-5ms |
| | **OTHERS** | | | | | |
| | **Alcohol** | | | | | |
| **38** | 2-hexanol | herbaceous, pungent, terpenic, cauliflower, chemical, winey, fruity, fatty | 1209 | ND | 0.34 | ND |
| | **Esters** | | | | | |
| **39** | 2-oxabicyclo[2.2.2] octan-6-ol, 1,3,3-trimethyl-, acetate | - | ND | 1339 | ND | 1.52 |
| **40** | chavicol acetate | - | >1700 | ND | 0.05 | ND |
| | **Ketone** | | | | | |
| **41** | 6-methyl-5-hepten-2-one | citrus, green, musty, lemongrass, apple, fruity, ketonic, creamy, cheesy, banana | 1314 | ND | 0.32 | ND |
| | **Phenol** | | | | | |
| **42** | methyl eugenol | clove, spice | >1700 | ND | 0.13 | ND |
| | **subtotal** | | | | **100.00** | **100.00** |

**หมายเหตุ** [a] ลักษณะกลิ่นจากฐานข้อมูล Flavor-Base 10th edition โดย Leffingwell & Associates (2016), Flavornet database โดย Acree and Arn (2004) และ The good scents company information system โดย The Good Scents Company (2018)

[b] Retention index (RI) คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานอัลเคน ($C_6$-$C_{30}$)

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ (not detected)



Copyright by Kasetsart University All rights reserved

การแยกสารด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC) อาศัยความสามารถในการละลายและดูดซับของสารระเหยบนคอลัมน์ โดยคอลัมน์รุ่น Stabilwax-MS เป็นคอลัมน์ที่มีสาร polyethylene glycol (PEG) เป็นเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) จึงจัดในกลุ่มคอลัมน์ประเภทมีขั้วสูง (high-polarity phase) สามารถแยกสารระเหยที่มีขั้วสูงได้ดี ในขณะที่คอลัมน์รุ่น Rxi-5ms เป็นคอลัมน์ที่มีสาร 5 % diphenyl และ 95 % dimethyl polysiloxane เป็นเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) ซึ่งจัดในกลุ่มคอลัมน์ประเภทมีขั้วต่ำ (low-polarity phase) จึงสามารถแยกสารระเหยที่มีขั้วต่ำและไม่มีขั้วได้ดี เมื่อพิจารณาจากหมู่ฟังก์ชัน (functional group) ของสารระเหยที่พบในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ แบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม เรียงลำดับตามความมีขั้วสูงไปต่ำดังนี้ ฟีนอล > แอลกฮอล์ > คีโตน ~ แอลดีไฮด์ > เอสเทอร์ > อีเทอร์ > ไฮโดรคาร์บอน (Ophardt, 2003)จากการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำด้วยเครื่อง GC-ToFMS พบว่าคอลัมน์มีขั้วสูงรุ่น Stabilwax-MS สามารถแยกสารระเหยในกลุ่มฟีนอล แอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ และอีเทอร์ (จำนวน 1, 9, 1, 3, 3 และ 2 ชนิด และปริมาณร้อยละ 0.13, 7.73, 0.32, 38.00, 1.28 และ 17.02 ตามลำดับ) ได้จำนวนชนิดและ/หรือปริมาณมากกว่าคอลัมน์มีขั้วต่ำรุ่น Rxi-5ms (จำนวน 0, 1, 0, 3, 1 และ 0 ชนิด และปริมาณร้อยละ 0, 0.12, 0, 31.02, 1.52 และ 0 ตามลำดับ) (ภาพที่ 6 และตารางที่ 6) และพบว่าสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ตามเกณฑ์การคัดเลือกจำนวน 12 ชนิด (ตารางที่ 5) สามารถแยกได้ด้วยคอลัมน์ Stabilwax-MS จำนวน 11 ชนิด ได้แก่ caryophyllene, citronellal, eucalyptol, geranial, linalool, citronellol, neral, geranyl acetate, limonene, α-pinene และ terpinolene โดยพบว่า β-myrcene เกิด co-eluted peak จึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ในขณะที่คอลัมน์ Rxi-5ms สามารถแยกสารระเหยในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน (จำนวน 14 ชนิด และปริมาณร้อยละ 67.35) ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่ไม่มีขั้วได้ดีกว่าคอลัมน์ Stabilwax-MS (จำนวน 13 ชนิด และปริมาณร้อยละ 35.53 ) แต่สามารถแยกสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำได้เพียง 7 ชนิด ได้แก่ geranial, linalool, β-myrcene, neral, limonene, α-pinene และ terpinolene (ตารางที่ 6)

สารระเหยที่พบมากในตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ เมื่อแยกสารระเหยด้วยคอลัมน์ชนิด Stabilwax-MS ได้แก่ limonene (20.47 %), citronellal (17.63 %), eucalyptol (16.67 %) geranial (13.66 %), neral (6.71 %), γ-terpinene (4.46 %), terpinolene (2.67 %), α-terpineol (2.56 %), β-pinene (2.09 %), citronellol (1.50 %), α-pinene (1.46 %) และ o-cymene (1.20 %) ตามลำดับ และสารระเหยที่พบมากในตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ เมื่อแยกสารระเหยด้วยคอลัมน์ชนิด Rxi-5msได้แก่ limonene (43.48 %), (R)-(+)-citronellal (16.75 %), geranial (8.53 %), neral (5.74 %), γ-terpinene (5.06 %), terpinolene (3.12 %), cis-caryophyllene (2.53 %), β-pinene (2.11 %), (E)-β-farnesene (1.90 %), β-myrcene (1.85 %), 2-oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol, 1,3,3-trimethyl-,

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

acetate (1.52 %), γ-gurjunene (1.46 %), humulene (1.45 %) และ α-selinene (1.27 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

**2. การศึกษาผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย**

ผลของการใช้มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin, MD) และกัมอราบิก (gum arabic, GA)ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3 เป็นสารห่อหุ้ม (wall material) ต่อผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย

**2.1. ปริมาณผลผลิต (% yield)**

ปริมาณผลผลิต (% yield) คือ ค่าประสิทธิผลของความสามารถในการผลิตผงแห้งกลิ่นต้มยำ หากได้ปริมาณผลผลิตสูง ก็ยิ่งเพิ่มความคุ้มค่าในการลงทุน จากตารางที่ 7 พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียวในการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ให้ปริมาณผลผลิต (% yield) สูงที่สุด (ปริมาณผลผลิตร้อยละ 58.99) แตกต่างจากการใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอราบิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้สัดส่วนมอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอราบิกแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ การใช้สัดส่วนของสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:3 (ปริมาณผลผลิตร้อยละ 50.84, 44.48 และ 42.95 ตามลำดับ) พบว่าหากใช้ปริมาณสัดส่วนกัมอราบิกน้อยที่สุด ได้แก่ สัดส่วนของสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:1 จะให้ปริมาณผลผลิต (% yield) สูงกว่า MD:GA เท่ากับ 1:2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การใช้สัดส่วนของสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:3 ให้ปริมาณผลผลิต (% yield) ไม่แตกต่าง MD:GA เท่ากับ 1:2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนของกัมอราบิกทำให้อิมัลชันที่ถูกนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเกิดเป็นฟิล์มติดโดยรอบห้องอบแห้ง (drying chamber) ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhandari, Dumoulin, Richard, Noleau, and Lebert (1992) ศึกษาการห่อหุ้ม citral และ linalyl acetate ด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าสารละลายสารห่อหุ้มที่มีปริมาณของแข็ง (total solid content) สูงและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้การคุมอุณหภูมิขาออกของการทำแห้งทำได้ยากขึ้น จึงเกิดอนุภาคของแข็งที่ยังมีความชื้นติดโดยรอบห้องอบแห้งในขณะทำแห้ง ส่งผลให้ได้ปริมาณผงแห้งจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยลดต่ำลง

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 7** ปริมาณผลผลิต (% yield) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3)

| สัดส่วนสารห่อหุ้มที่ใช้ผลิตผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA) | ปริมาณผลผลิตของผงแห้งกลิ่นต้มยำ (%) |
|---|---|
| **1:0** | $58.99^{a}$±2.48 |
| **1:1** | $50.84^{b}$±3.90 |
| **1:2** | $44.48^{c}$±1.60 |
| **1:3** | $42.95^{c}$±2.81 |

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ย±SD ในคอลัมน์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

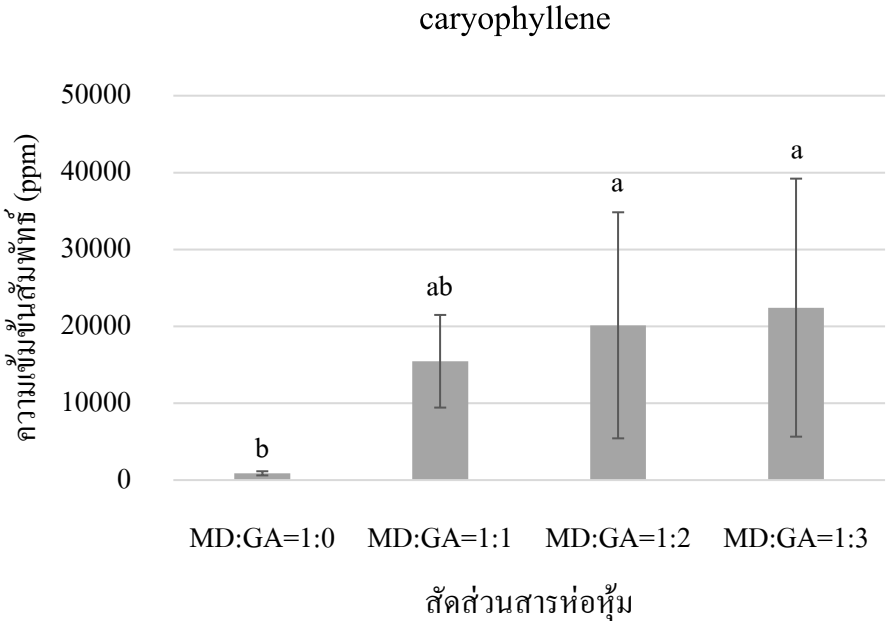
**2.2. ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำ**

การคัดเลือกสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ พบสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำที่เป็นไปตามเกณฑ์การคัดเลือก จำนวน 12 ชนิด ได้แก่ caryophyllene, citronellal, eucalyptol, geranial, linalool, citronellol, β-myrcene, neral, geranyl acetate, limonene, α-pinene และ terpinolene ดังแสดงในตารางที่ 5 เมื่อวิเคราะห์ผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ผ่านการชะสารระเหยที่ผิวออกด้วยเฮกเซน โดยใช้เทคนิค headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) ที่เครื่อง GC-ToFMS แยกสารโดยใช้คอลัมน์รุ่น Stabilwax-MS พบสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ จำนวน 11 ชนิด โดย citronellol เกิด co-eluted peak จึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้

หากพิจารณาสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำจากค่า odor activity value (OAV) ที่อยู่ในกลุ่มระดับสูง OAV = 7,000-100,000 (สุมิตรา บุญบำรุง, 2549) จึงเลือกตรวจติดตามสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ caryophyllene, citronellal, eucalyptol, geranial และ linalool เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญดังกล่าว ที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) พบว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:0) ให้ค่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ 5 ชนิด และผลรวมของสารสำคัญดังกล่าวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และค่าดังกล่าวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของกัมอราบิก โดยผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:3) ให้ค่าดังกล่าวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 7) มอล

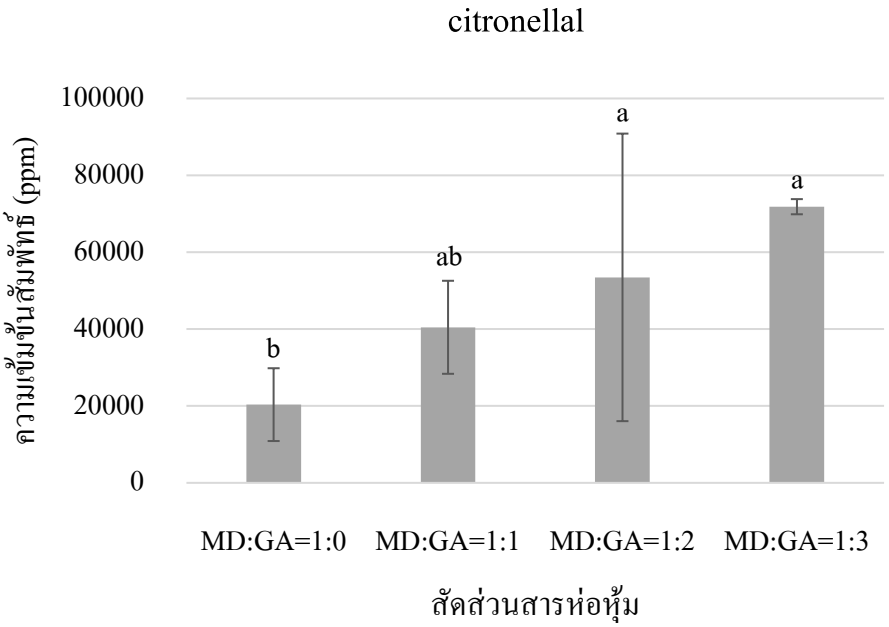
Copyright by Kasetsart University All rights reserved

โตเดกซ์ทรินให้ความหนืดต่ำ แม้ใช้ที่ความเข้มข้นสูง (Klinjapo & Krasaekoopt, 2018) ในขณะที่ปริมาณกัมอราบิกที่มากเกินไป ทำให้อิมัลชันข้นหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลต่ออัตราการทำแห้ง ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้เป็นละอองฝอยนานขึ้น (Nguyen, Mounir, & Allaf, 2017) รายงานของ Phillips and Williams (2009) พบว่าความเข้มข้นของกัมอราบิกที่สูงขึ้น ทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สารละลายกัมอราบิกให้ความหนืดต่ำกว่าเมื่อเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ๆ ในการทดลองนี้มีการใช้สัดส่วนของกัมอราบิกเพิ่มขึ้น (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3 ตามลำดับ) อิมัลชันจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณกัมอราบิกที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดฟิล์มติดโดยรอบห้องอบแห้งมากขึ้น ทำให้ได้ปริมาณผลผลิต (% yield) ลดลง ยิ่งไปกว่านั้นการใช้สัดส่วนของกัมอราบิกที่สูงขึ้น ยังทำให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น เนื่องจากกัมอราบิกมีราคาแพงกว่ามอลโตเดกซ์ทรินประมาณ 10 เท่า จากผลการทดลองพบว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:2) ให้ค่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ caryophyllene, citronellal, linalool และผลรวมของสารสำคัญทั้ง 5 ชนิด สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มค่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ eucalyptol และ geranial สูงกว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:1) (ภาพที่ 7)

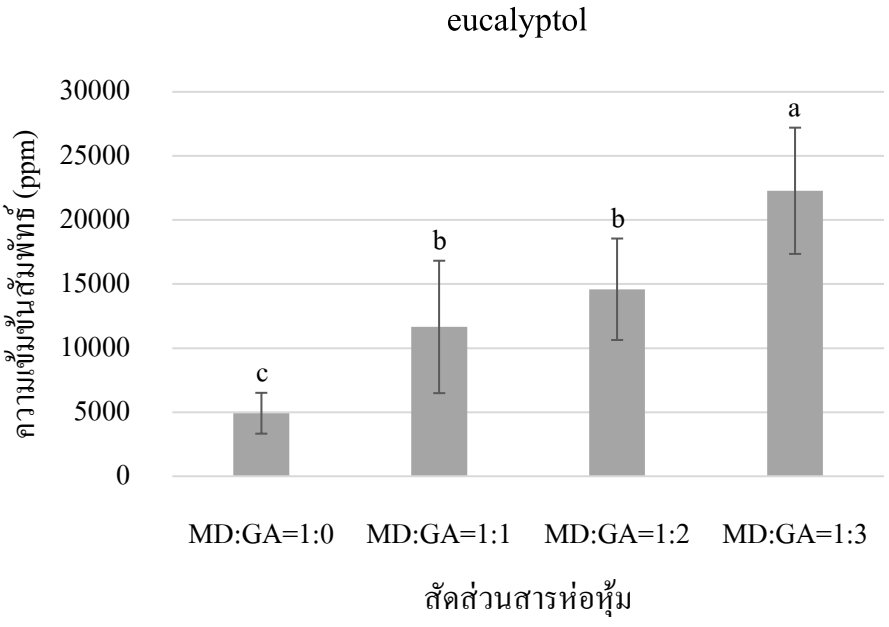



(ก)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

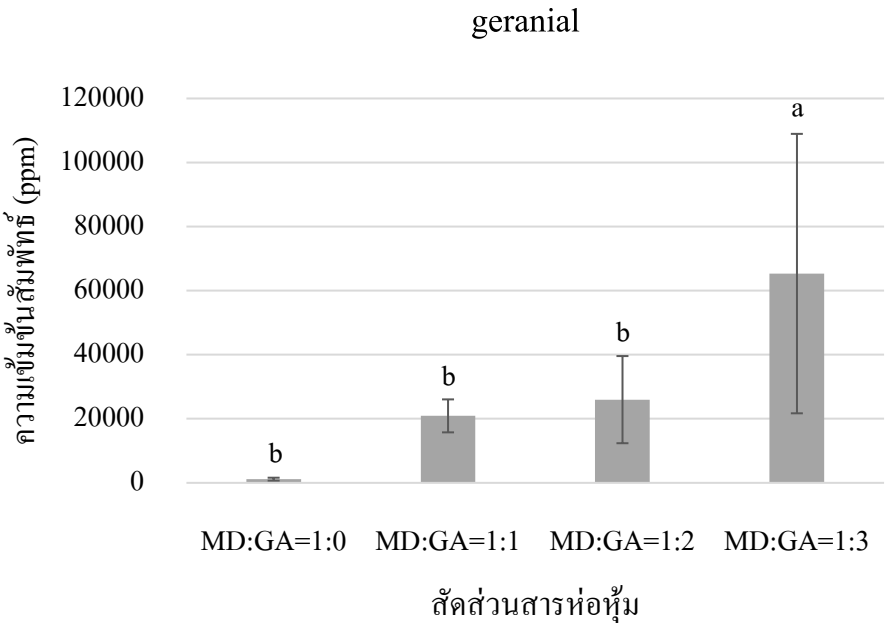



(ข)

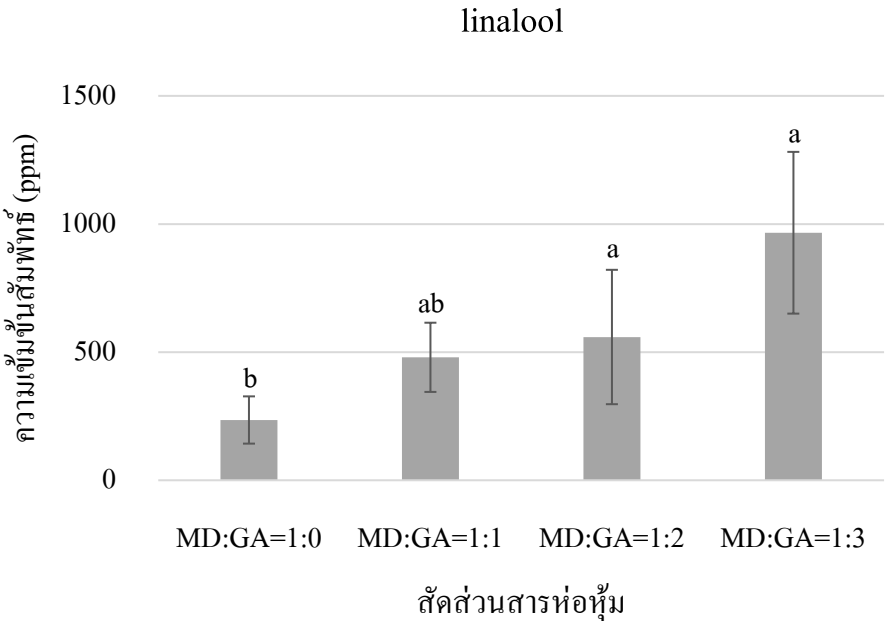



(ค)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

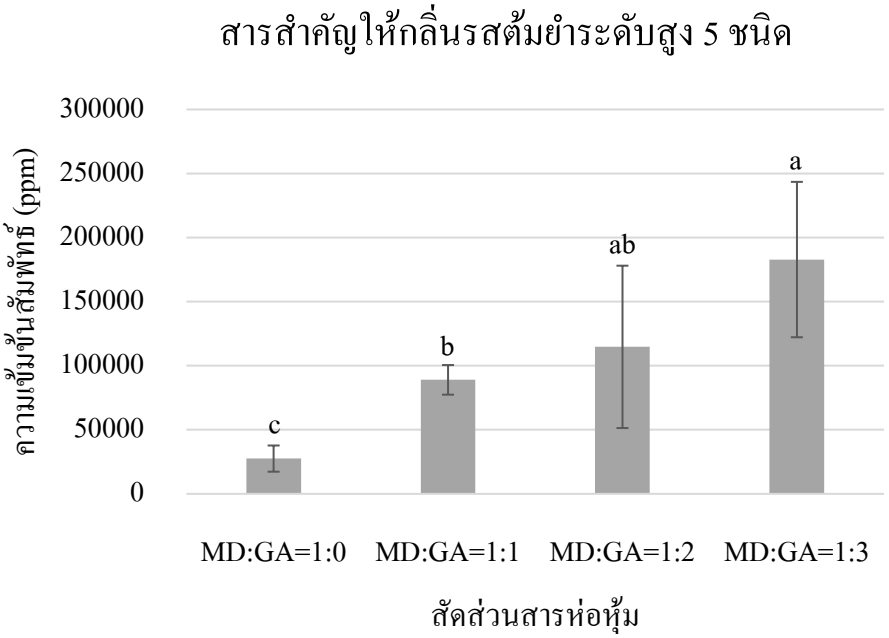



(ง)




(จ)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved




(ฉ)

**ภาพที่ 7** ความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำระดับสูง 5 ชนิด (ก) caryophyllene (ข) citronellal (ค) eucalyptol (ง) geranial (จ) linalool และ (ฉ) ความเข้มข้นสัมพัทธ์รวมของสารสำคัญทั้ง 5 ชนิด ที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**2.3. ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ**

การศึกษาสีของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้ม ผงแห้งกลิ่นต้มยำจะมีสีขาวสว่าง สังเกตจากค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุด (ค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 97.71) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แตกต่างจากการใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอราบิก และเมื่อเปรียบเทียบการใช้สัดส่วนของสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:3 พบว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น สังเกตจากค่าสีเหลือง (b*) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของกัมอราบิกตามลำดับ (ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 3.71, 4.56 และ 4.88 ตามลำดับ) (ตารางที่ 8) โดยสีของผงแห้งกลิ่นต้มยำอาจเป็นผลมาจากสีของสารห่อหุ้มที่ใช้ ซึ่งมอลโตเดกซ์ทรินมีลักษณะเป็นผงสีขาวสว่าง ในขณะที่กัมอราบิกมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน

**ตารางที่ 8** ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3)

| ค่าสี ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ | สัดส่วนสารห่อหุ้มที่ใช้ผลิตผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1:0 | 1:1 | 1:2 | 1:3 |
| L* | $97.71^{a}$±0.54 | $93.92^{b}$±0.35 | $93.38^{c}$±0.43 | $93.13^{c}$±0.74 |
| a* | $-0.10^{b}$±0.07 | $0.13^{a}$±0.05 | $0.10^{a}$±0.03 | $0.12^{a}$±0.02 |
| b* | $0.77^{d}$±0.10 | $3.71^{c}$±0.11 | $4.56^{b}$±0.08 | $4.88^{a}$±0.08 |

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ย±SD ในแถวเดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**2.4. ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ**

การศึกษาค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) พบว่าสัดส่วนการใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน ไม่ทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระของผงแห้งกลิ่นต้มยำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ผงแห้งกลิ่นต้มยำมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.110-0.137 (ตารางที่ 9) โดยค่าปริมาณน้ำอิสระที่ต่ำว่า 0.2 สามารถป้องกันการเกาะตัวกันของอนุภาคผงแห้ง และมีโอกาสเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาต่ำ (Alves et al., 2014) เนื่องจากรา

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

ยีสต์ และแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำสุด 0.80, 0.88 และ 0.91 ตามลำดับ (Majumdar et al., 2018)

**ตารางที่ 9** ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3)

| **สัดส่วนสารห่อหุ้มที่ใช้ผลิตผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA)** | **ค่าปริมาณน้ำอิสระของผงแห้งกลิ่นต้มยำ$^{ns}$** |
|---|---|
| **1:0** | 0.137±0.027 |
| **1:1** | 0.110±0.029 |
| **1:2** | 0.137±0.020 |
| **1:3** | 0.131±0.026 |

**หมายเหตุ** ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) ส่งผลต่อปริมาณผลผลิต (% yield) ค่าสี (ระบบ L* a* b*) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ ตลอดจนความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำ โดยผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:2) มีแนวโน้มค่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ eucalyptol และ geranial ที่ถูกกักเก็บสูงกว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:1) และให้ค่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ caryophyllene, citronellal, linalool และผลรวมของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำทั้ง 5 ชนิด สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยใช้สัดส่วนกัมอราบิกน้อยกว่า ทำให้มีความหนืดของอิมัลชันต่ำกว่า ช่วยลดโอกาสการเกิดปัญหาอิมัลชันติดค้างในสายฟีด และการเกิดฟิล์มติดโดยรอบห้องอบแห้งระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ ช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตได้มากกว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:3) และการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนกัมอราบิกทำให้ปริมาณผลผลิต (% yield) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำลดลง (MD:GA เท่ากับ 1:2 และ 1:3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)) นอกจากนี้ยังทำให้ผงแห้งกลิ่นต้มยำเป็นสีเหลืองมากขึ้น และผงแห้งกลิ่นต้มยำทั้งหมดมีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.2

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**3. การศึกษาความคงตัวของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยในช่วงการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง**

**3.1. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ระหว่างผงแห้งกลิ่นต้มยำกับน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่ง**

จากผลการทดลองการใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) เป็นสารห่อหุ้มในการผลิตผงแห้งกลิ่นต้มยำโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย จึงคัดเลือกผงแห้งกลิ่นต้มยำสัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 เพื่อนำมาศึกษาความคงตัว โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ระหว่างผงแห้งกลิ่นต้มยำกับน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่ง นาน 40 วัน ตรวจติดตามสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ caryophyllene, citronellal, eucalyptol, geranial และ linalool ซึ่งพิจารณาจากค่า odor activity value (OAV) ในกลุ่มระดับสูง OAV = 7,000-100,000 (สุมิตรา บุญบำรุง, 2549) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS) แยกสารโดยใช้คอลัมน์ Stabilwax-MS ทำการตรวจวัดตัวอย่าง ณ วันที่ 0, 15, 30 และ 40 ของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาให้ปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำทั้ง 5 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 100 ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง พบว่าในวันที่ 40 ของการเก็บรักษา ค่าร้อยละการเหลืออยู่ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ 3 ชนิด ได้แก่ caryophyllene, eucalyptol และ linalool ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 40.30, 61.84 และ 47.02 ตามลำดับ) สูงกว่าในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 26.04, 48.16 และ 31.67 ตามลำดับ) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการเก็บรักษาน้ำมันหอมระเหยมาเจอร์แรม (marjoram essential oil) ในภาชนะทึบแสง ที่สภาวะมีแสงเป็นระยะเวลา 1 ปี พบ linalool และ caryophyllene มีความเข้มข้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 60 และ 20 ตามลำดับ และมีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารดังกล่าว ได้แก่ linalool oxide (เพิ่มขึ้น 2.4 เท่า) และ caryophyllene oxide (เพิ่มขึ้น 1 เท่า) ตามลำดับ (Misharina, Polshkov, Ruchkina, & Medvedeva, 2003) มีความเป็นไปได้ว่าการเสื่อมสลายของ geranial ซึ่งเป็นไอโซเมอร์หนึ่งของ citral ทำให้เกิดการสร้าง linalool ระหว่างการเก็บรักษาผงแห้งกลิ่นต้มยำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bertolini, Siani, and Grosso (2001) ที่พบว่าผงแห้งจากการห่อหุ้ม citral ด้วยกัมอราบิกถูกเก็บไว้ที่สภาวะเร่ง มีปริมาณ citral ลดลง และมี linalool เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นใหม่ จากผลการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำด้วย GC-ToFMS แยกสารโดยใช้คอลัมน์มีขั้วรุ่น Stabilwax-MS พบ eucalyptol (ร้อยละ

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

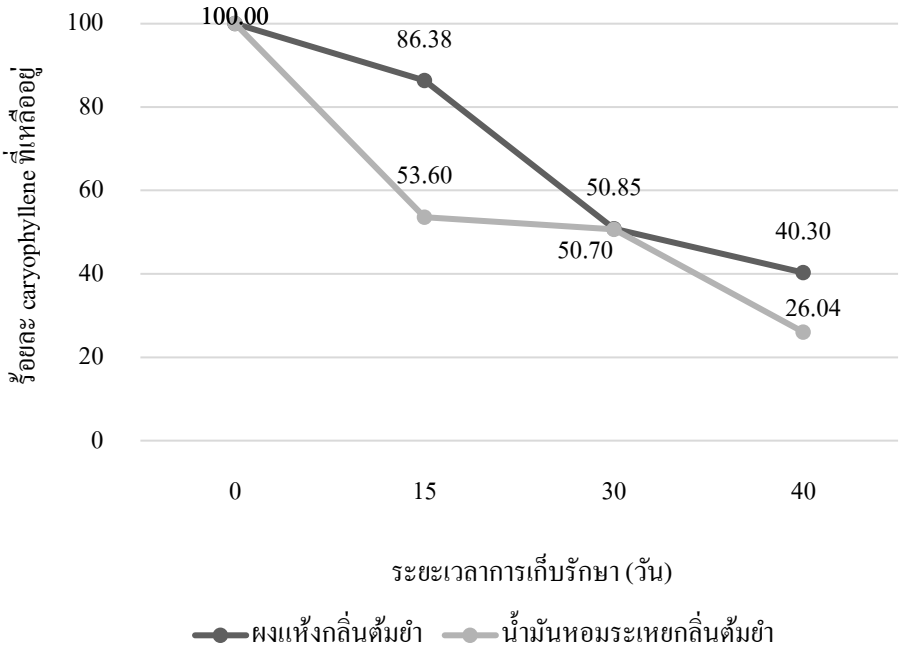
องค์ประกอบเท่ากับ 16.67) ปริมาณสูงกว่า caryophyllene และ linalool (ร้อยละองค์ประกอบเท่ากับ 0.23 และ 0.96 ตามลำดับ) (ตารางที่ 6) และพบว่า eucalyptol มีการเสื่อมสลายค่อนข้างช้า เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่มีความเสถียรสูง (Clarke, 2008) จึงมีปริมาณเหลืออยู่มากที่สุดทั้งในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ และผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาไว้ที่สภาวะเร่งนาน 40 วัน (ร้อยละ 61.84 และ 48.16 ตามลำดับ) (ภาพที่ 8) ในขณะร้อยละการเหลืออยู่ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ 2 ชนิด ได้แก่ citronellal และ geranial ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 28.11 และ 35.61) น้อยกว่าน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 35.46 และ 35.93) ณ วันที่ 40 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 8) จากงานวิจัยของ Loksuwan (2009) พบว่ากัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้มที่ทำให้ผงแห้งจากการห่อหุ้ม citral โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย มี citral อยู่ที่ผิวผงแห้งเป็นปริมาณมาก จึงเป็นไปได้ว่าในการทดลองนี้อาจจะมี geranial ซึ่งเป็นไอโซเมอร์หนึ่งของ citral ติดอยู่ที่ผิวของผงแห้งกลิ่นต้มยำปริมาณมาก ทำให้มีโอกาสเสื่อมสลายได้ง่ายกว่าส่วนที่ถูกกักเก็บไว้ภายในผงแห้ง นอกจากนี้ Turek and Stintzing (2013) รายงานว่าเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทอร์พีนและแอลดีไฮด์เป็นสารที่ไม่ทนร้อน (thermolabile) และไวต่อกระบวนการจัดเรียงใหม่ที่อุณหภูมิสูง สอดคล้องกับ Clarke (2008) ที่รายงานว่าสารกลุ่มแอลดีไฮด์ มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา อาจเป็นสาเหตุที่ citronellal และ geranial ซึ่งเป็นสารในกลุ่มมอนอเทอร์พีนอยด์แอลดีไฮด์ (monoterpenoid aldehyde) มีปริมาณลดลงค่อนข้างมาก จากงานวิจัยของ Jirapakkul et al. (2013) รายงานว่าใบมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งมีปริมาณ citronellal ลดลง ซึ่งการศึกษาของ Mäki-Arvela et al. (2003) พบว่า citronellal เป็นสารตั้งต้นของ citronellol และ citronellyl acetate ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันและปฏิกิริยาออกซิเดชันตามลำดับ ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งเป็นระยะเวลา 40 วัน ผงแห้งกลิ่นต้มยำและน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ไม่พบสารระเหยเกิดขึ้นใหม่

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการห่อหุ้มสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกสามารถป้องกันการสูญเสียสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำได้ เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีแสง ความร้อน และออกซิเจนในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Turek & Stintzing, 2013) สารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ในกลุ่มระดับสูงทั้ง 5 ชนิดได้แก่ eucalyptol, citronellal, linalool, caryophyllene และ geranial เป็นสารในกลุ่มเทอร์พีน (terpenes) สามารถระเหยได้และไม่คงตัวต่อความร้อน (thermolabile) จึงถูกออกซิไดซ์ (oxidize) ได้ง่าย (ดัดแปลงจาก Scott, 2005) พบว่าองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยมีแนวโน้มต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical transformation) หรือปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เนื่องจากแสง ความร้อน และออกซิเจนในอากาศสูงเป็นพิเศษ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มักเกิดขึ้น

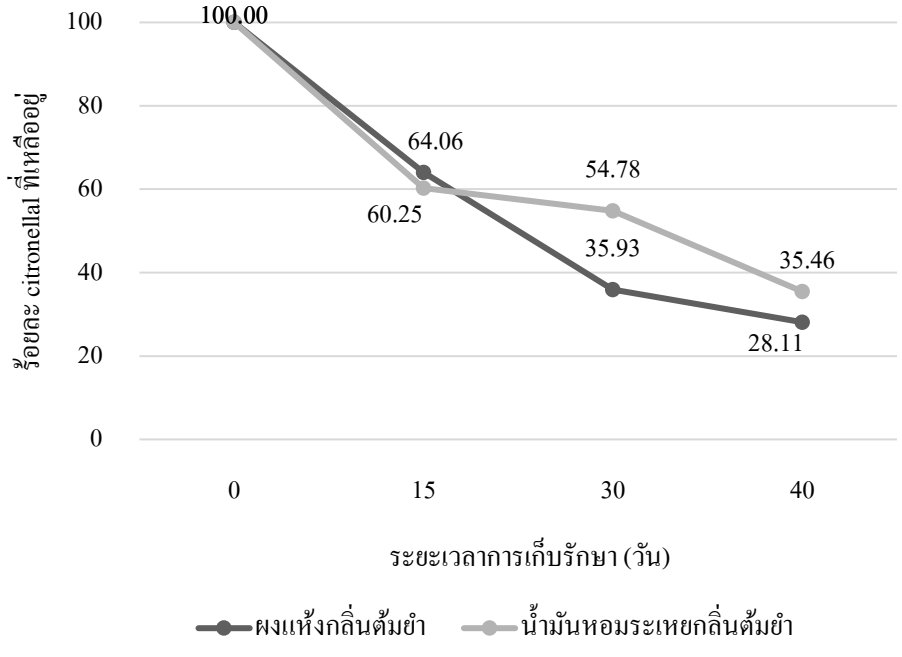
Copyright by Kasetsart University All rights reserved

พร้อมกัน ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของน้ำมันหอมระเหย (Turek & Stintzing, 2013) การสูญเสียคุณภาพของน้ำมันหอมระเหย เช่น กลิ่นฉุน (pungent) และการเปลี่ยนแปลงสี เช่น การเกิดคราบเหลืองของน้ำมันยี่หร่า (caraway oil) (Preuss, 1964) การเสื่อมสภาพของน้ำมันหอมระเหย และสารเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) ทำให้น้ำมันหอมระเหยมีสีเข้มขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Grassmann & Elstner, 2003) นอกจากการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสและความหนืดของน้ำมันหอมระเหยเก่าเก็บ การเกิดออกซิเดชันของสารเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) สามารถทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนังได้อีกด้วย (Christensson, Matura, Gruvberger, Bruze, & Karlberg, 2010; Hagvall, Sköld, Bråred-Christensson, Börje, & Karlberg, 2008) ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ อุณหภูมิ แสง และออกซิเจนในอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอก และองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหย โครงสร้างสารประกอบ และสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหย ซึ่งเป็นปัจจัยภายในของน้ำมันหอมระเหย (Turek & Stintzing, 2013) สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกได้โดยการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยด้วยมอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอราบิกก่อนการทำแห้งโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อปกป้องการเสื่อมเสียสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) จากอุณหภูมิ แสง และออกซิเจนในอากาศ เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากที่สุด และมีราคาถูก มีสมบัติละลายน้ำได้ดี โดยให้ความหนืดต่ำ และไม่มีรสชาติ แต่ขาดสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) จึงนำมาใช้ร่วมกับกัมอราบิกซึ่งมีสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในขั้นตอนการทำอิมัลชันของสารแกนกลาง (core material) ซึ่งก็คือน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ กับสารละลายของสารห่อหุ้ม (wall material) โดยกัมอราบิกเป็นไฮโดรคอลลอยด์ ที่มีสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsifier) สมบัติดังกล่าวจะช่วยทำให้เกิดอิมัลชันได้ดีและมีความคงตัวโดยไม่ต้องเติมอิมัลซิไฟเออร์อื่น ๆ ในกระบวนการนี้อีก

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

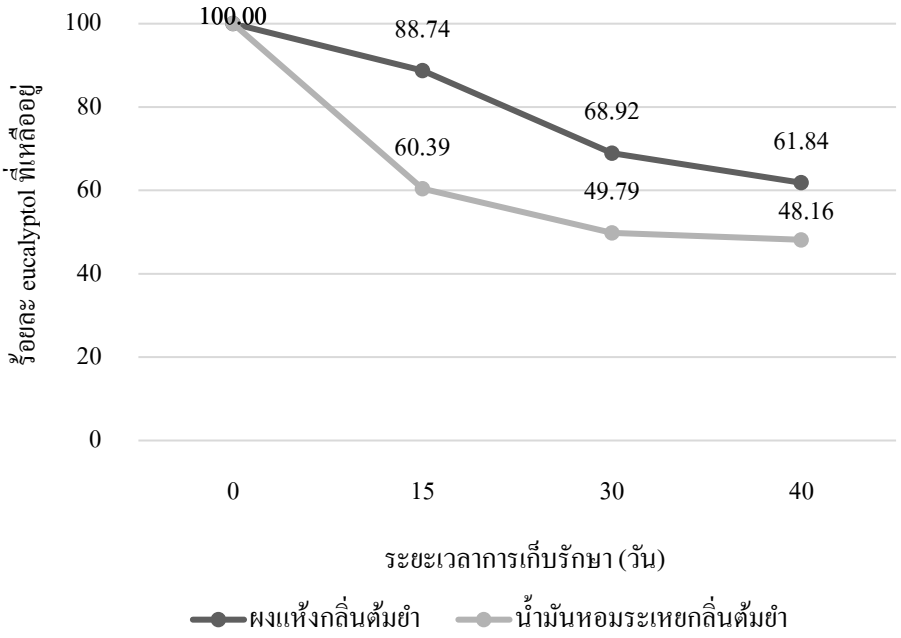



(ก)

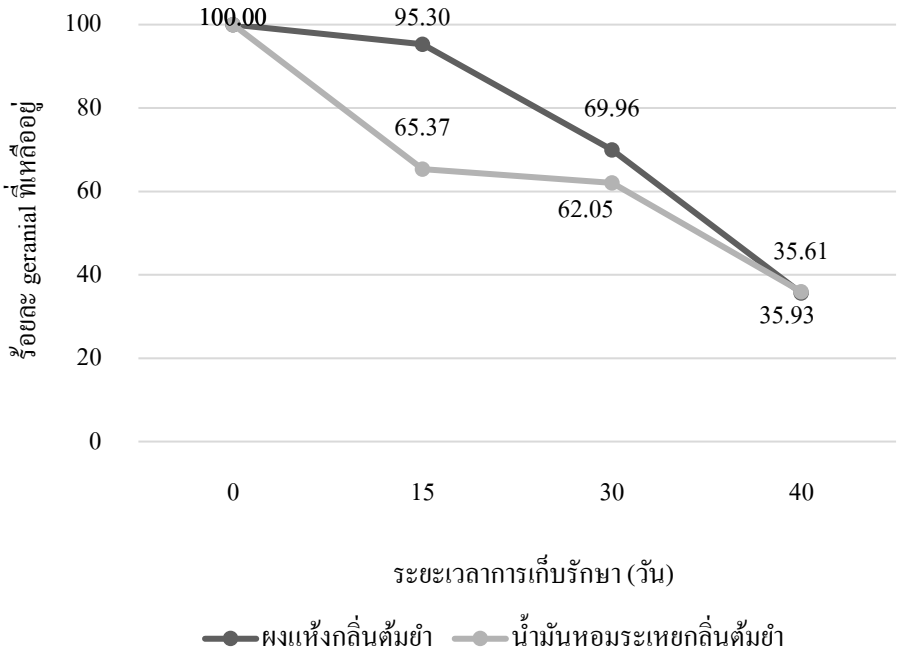



(ข)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

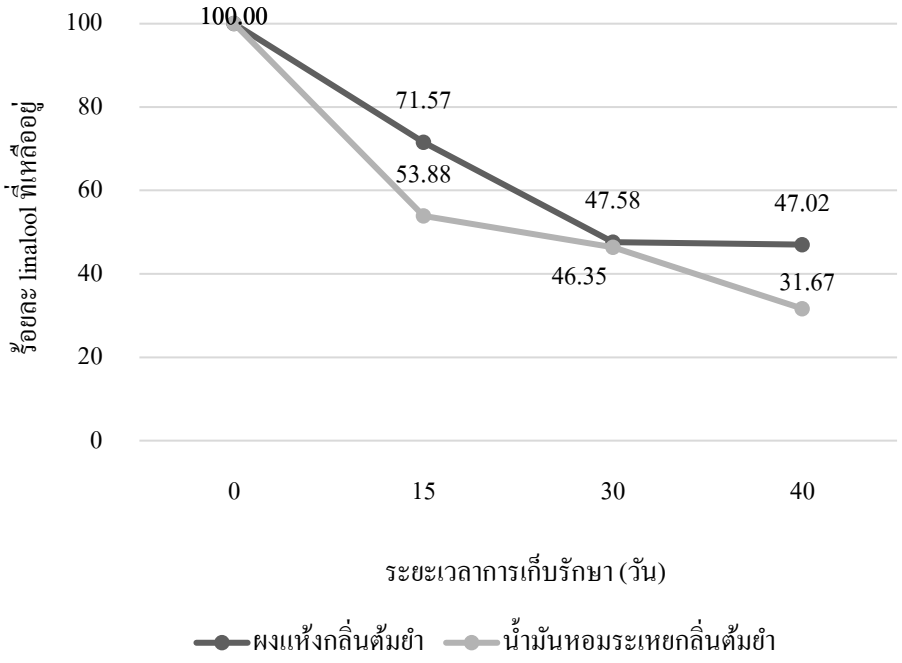



(ค)




(ง)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved




(จ)

**ภาพที่ 8** การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ) ปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำระดับสูง 5 ชนิด (ก) caryophyllene (ข) citronellal (ค) eucalyptol (ง) geranial และ (จ) linalool ของผงแห้งกลิ่นต้มยำและน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ในช่วงการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง 40 วัน เปรียบเทียบกับปริมาณสารสำคัญเริ่มต้น วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography time-of-flight mass spectrometry (GC-ToFMS)

### 3.2. การเปลี่ยนแปลงลักษณะกลิ่น (odor description) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่ง

วิเคราะห์ลักษณะกลิ่น (odor description) ของสารระเหยให้กลิ่นที่พบในผงแห้งกลิ่นต้มยำ ณ วันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษาด้วยเครื่อง gas chromatography-olfactometry (GC-O) แยกสารโดยใช้คอลัมน์ Innowax ตรวจจับสารที่ออกจากคอลัมน์ด้วย flame ionization detector (FID) และให้ผู้ทดสอบดมกลิ่นของสารระเหยผ่านทาง sniffing port พบสารระเหยให้กลิ่นจำนวน 16 ชนิด ได้แก่ sabinene (กลิ่นสมุนไพร ไม้ เครื่องเทศ พริก เปรี้ยว หวาน และสดชื่น), α-terpinene (กลิ่นสมุนไพร ยา ฉุน และเปรี้ยว), eucalyptol (กลิ่นยูคาลิปตัส มิ้นท์ เมนทอล ยา การบูร และสมุนไพร), β-ocimene (กลิ่นสมุนไพร เปรี้ยว หวาน และดอกไม้), terpinolene (กลิ่นหวาน ดอกไม้ สมุนไพร ป่า และไม้), 6-methyl-5-hepten-2-one (กลิ่นอับ ไม้ ฟาง เห็ดฟาง และเปรี้ยว), citronellal (กลิ่นใบมะกรูด และอับ), linalool (กลิ่นดอกไม้ หวาน มะนาว เลมอน ผิวส้ม สมุนไพร และสดชื่น),

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

caryophyllene (กลิ่นสมุนไพร ข่า ตะไคร้ เครื่องเทศ อับ ไม้ และใบไม้แห้ง), neral (กลิ่นตะไคร้), geranial (กลิ่นตะไคร้ เลมอน และมิ้นท์), geranyl acetate (กลิ่นตะไคร้ เลมอน ดอกไม้ ฟรุตตี้ สมุนไพร และป่า), citronellol (กลิ่นหวาน และดอกไม้), geraniol (กลิ่นหวาน ดอกไม้ ลูกอมมะขาม บ๊วย), chavicol acetate (กลิ่นยา และการบูร) และ methyl eugenol (กลิ่นพริกไทย ฉุน ออริกาโน่ เครื่องเทศ และสมุนไพรยาจีน) (ตารางที่ 10)

ผงแห้งกลิ่นต้มยำในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง ตรวจพบสารระเหยให้กลิ่นจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-O จำนวน 16 ชนิด และในสารระเหยทั้ง 16 ชนิดดังกล่าว มีสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) กลุ่มระดับสูงทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ caryophyllene, citronellal, eucalyptol, geranial และ linalool (ตารางที่ 10) ไม่พบสารระเหยให้กลิ่นชนิดอื่น ๆ และกลิ่นผิดปกติ (off-odor) เพิ่มเติมนอกเหนือจากที่พบในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ToFMS (ตารางที่ 6) และยังคงตรวจพบกลิ่นสารระเหยให้กลิ่นทั้ง 16 ชนิด ในผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่งนาน 40 วัน ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่พบในผงแห้งกลิ่นต้มยำผลิตใหม่ (วันที่ 0) นอกจากนี้ยังไม่พบกลิ่นผิดปกติ (off-odor) เกิดขึ้นใหม่ เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-O (ตารางที่ 10)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 10** ลักษณะกลิ่น (odor description) ของสารระเหยให้กลิ่นที่พบในผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 ณ วันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography-olfactometry (GC-O)

| ที่ | สารระเหย | ลักษณะกลิ่นจาก GC-O[a] | RI[b] | Identifications[c] | การตรวจพบสารระเหย | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ผงแห้งกลิ่นต้มยำ วันที่ 0 | ผงแห้งกลิ่นต้มยำ วันที่ 40 |
| 1 | sabinene | สมุนไพร ไม้ เครื่องเทศ พริก เปรี้ยว หวาน สดชื่น | 1146 | MS,RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 2 | α-terpinene | สมุนไพร ยา ฉุน เปรี้ยว | 1198 | MS, RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 3 | eucalyptol | ยูคาลิปตัส มิ้นท์ เมนทอล ยา การบูร สมุนไพร | 1234 | AC, MS, RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 4 | β-ocimene | สมุนไพร เปรี้ยว หวาน ดอกไม้ | 1360 | MS, odor description | ✓ | ✓ |
| 5 | terpinolene | หวาน ดอกไม้ สมุนไพร ป่า ไม้ | 1367 | MS, odor description | ✓ | ✓ |
| 6 | 6-methyl-5-hepten-2-one | อับ ไม้ ฟาง เห็ดฟาง เปรี้ยว | 1460 | MS, odor description | ✓ | ✓ |
| 7 | citronellal | ใบมะกรูด อับ | 1480 | AC, MS, RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 8 | linalool | ดอกไม้ หวาน มะนาว เลมอน ผิวส้ม สมุนไพร สดชื่น | 1558 | AC, MS, RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 9 | caryophyllene | สมุนไพร ข่า ตะไคร้ เครื่องเทศ อับ ไม้ ใบไม้แห้ง | 1571 | MS, RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 10 | neral | ตะไคร้ | 1682 | AC, MS, RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 11 | geranial | ตะไคร้ เลมอน มิ้นท์ | >1700 | AC, MS, RI, odor description | ✓ | ✓ |
| 12 | geranyl acetate | ตะไคร้ เลมอน ดอกไม้ ฟรุตตี้ สมุนไพร ป่า | >1700 | MS, odor description | ✓ | ✓ |
| 13 | citronellol | หวาน ดอกไม้ | >1700 | MS, odor description | ✓ | ✓ |
| 14 | geraniol | หวาน ดอกไม้ ลูกอมมะขาม บ๊วย | >1700 | MS, odor description | ✓ | ✓ |
| 15 | chavicol acetate | ยา การบูร | >1700 | MS | ✓ | ✓ |
| 16 | methyl eugenol | พริกไทย ฉุน ออริกาโน่ เครื่องเทศ สมุนไพรยาจีน | >1700 | odor description | ✓ | ✓ |



Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**หมายเหตุ** [a] ลักษณะกลิ่นจากการดมผ่าน sniffing port ที่ต่อจากเครื่อง gas chromatography-olfactometry (GC-O)

[b] retention index (RI) คำนวณโดยใช้สารมาตรฐานแอลเคน ($C_6$-$C_{30}$)

[c] Identifications หมายถึง การระบุสาร โดยเทียบจาก AC-authentic compound, MS-mass spectrometry, RI-retention index และ odor description

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

### 3.3. การเปลี่ยนแปลงค่าสี (ระบบ L* a* b*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) และค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บที่สภาวะเร่ง

ผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 ถูกเก็บไว้ที่สภาวะเร่งเป็นระยะเวลา 40 วัน ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสี ในระบบ L* a* b* ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) และค่าปริมาณความชื้น (moisture content)

สีเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร โดยถือเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพที่ใช้กำหนดการยอมรับ จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 40 วัน ผงแห้งกลิ่นต้มยำมีสีเหลืองเข้มขึ้น สังเกตจากค่า b* ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า b* เท่ากับ 3.49 และ 5.04 ในวันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษาตามลำดับ และมีค่าความเป็นสีแดง (a*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า a* เท่ากับ 0.11 และ -0.14 ในวันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษาตามลำดับ ในขณะที่ค่าความสว่าง (L*) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยมีค่า L* เท่ากับ 94.88 และ 94.99 ในวันที่ 0 และ 40 ของการเก็บรักษาตามลำดับ (ตารางที่ 12) การเปลี่ยนแปลงสีของผงแห้งกลิ่นต้มยำอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำที่อยู่บริเวณผิวของผงแห้งกลิ่นต้มยำขณะเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tran et al. (2021) ซึ่งทำการทดลองเก็บรักษาน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ไว้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสีเหลืองเข้มขึ้น สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยสายตา และมีค่าความเป็นสีเหลือง ( b*) เพิ่มจาก 22.57 เป็น 42.3

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากวันที่ 0 ($a_w = 0.133$) ถึงวันที่ 40 ($a_w = 0.269$) ของการเก็บรักษา ตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำมีค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.3 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่สภาวะเร่งนาน 40 วัน จึงมีโอกาสเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากรา ยีสต์ และแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำสุด 0.80, 0.88 และ 0.91 ตามลำดับ (Majumdar et al., 2018)

ค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากวันที่ 0 (ค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 4.75) ถึงวันที่ 40 (ค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 5.54) ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 12) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาผงแห้งจากการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันมะนาว น้ำมันขิง น้ำมันมะรุม และน้ำมันตะไคร้ ด้วยมอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอราบิกโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8.00 (Bringas-Lantigua et al., 2012; de Barros Fernandes et al., 2016; Premi & Sharma, 2017;

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Thuong Nhan et al., 2020) และพบว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำผลิตใหม่มีค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 4.75 (ตารางที่ 12) ใกล้เคียงกับผงแห้งจากการห่อหุ้มน้ำมันมะนาว และน้ำมันตะไคร้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผสมน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ มีค่าปริมาณความชื้นร้อยละ 4.90-7.10 และ 2.48-6.14 ตามลำดับ (Bringas-Lantigua et al., 2012; Thuong Nhan et al., 2020) ทั้งนี้วิธีการหาค่าปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน (hot air oven) อาจมีผลทำให้เกิดการระเหยออกของสารระเหยบางชนิด จึงมีโอกาสที่น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบลดลงเกิดจากการระเหยของน้ำในอาหารและสารระเหยบางชนิด ในงานวิจัยของ de Barros Fernandes, Borges, and Botrel (2014) ศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยโรสแมรีด้วยกัมอราบิก เปรียบเทียบกับการใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอราบิก โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะสังเกตเห็นว่าผงแห้งดูดความชื้นได้ต่ำกว่าเมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มร่วม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Alves et al. (2014) ศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยจากผล *Pterodon emarginatus* ด้วยมอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอราบิกโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย มีรายงานว่าการเติมมอลโตเดกซ์ทรินช่วยให้ผงแห้งดูดความชื้นได้น้อยกว่า เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ต่ำ

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (dried food) หรืออาหารที่มีความชื้นต่ำ (low-moisture foods, LMFs) โดยปกติจะมีค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ต่ำกว่า 25 % และมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ต่ำกว่า 0.6 (Jay, Loessner, & Golden, 2005) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำมีค่าปริมาณความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าค่าดังกล่าวมาก (ตารางที่ 12) จึงสามารถเก็บผงแห้งกลิ่นต้มยำไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เน่าเสีย ทั้งนี้ควรเก็บรักษาในที่แห้งและเย็นในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพ ทำการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ให้ต่ำเพื่อป้องกันการดูดน้ำกลับจนเกิดความชื้นที่ผิวของผงแห้งกลิ่นต้มยำ เพิ่มโอกาสให้เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้มากขึ้น

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ตารางที่ 11** ค่าสี (ระบบ L* a* b*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) และค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 เก็บรักษาที่สภาวะเร่งเป็นระยะเวลา 40 วัน

| ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) | ค่าสี | | | ค่าปริมาณน้ำอิสระ | ค่าปริมาณความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | $L^{*ns}$ | a* | b* | | |
| **0** | 94.88±0.35 | $0.11^{a}$±0.01 | $3.49^{b}$±0.04 | $0.133^{b}$±0.008 | $4.75^{b}$±0.40 |
| **40** | 94.99±0.51 | $-0.14^{b}$±0.02 | $5.04^{a}$±0.11 | $0.269^{a}$±0.069 | $5.54^{a}$±1.00 |

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ย±SD ในคอลัมน์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# สรุปและข้อเสนอแนะ

## สรุป

1. การศึกษาชนิดและปริมาณของสารระเหยในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ที่เตรียมจากการผสมน้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) อัตราส่วน 1:1:1:1 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-ToFMS พบสารระเหยจำนวน 42 ชนิด จากการแยกสารด้วยคอลัมน์มีขั้วแตกต่างกัน 2 ชนิด ซึ่งสารระเหยส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มเทอร์พีน ประกอบไปด้วย monoterpene จำนวน 27 ชนิด sesquiterpene จำนวน 10 ชนิด นอกจากนี้ยังพบสารระเหยในกลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ คีโตน และฟีนอล จำนวน 5 ชนิด โดยสารระเหยที่มีปริมาณสูงสุด 5 อันดับแรก จากคอลัมน์มีขั้วสูง (Stabilwax-MS) ได้แก่ limonene (20.47 %), citronellal (17.63 %), eucalyptol (16.67 %), geranial (13.66 %) และ neral (6.71 %) จากคอลัมน์มีขั้วต่ำ (Rxi-5ms) ได้แก่ limonene (43.48 %), (R)-(+)-citronellal (16.75 %), geranial (8.53 %), neral (5.74 %) และ γ-terpinene (5.06 %)

2. สารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ของน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ คัดเลือกจากองค์ประกอบที่สำคัญที่มีในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ ได้แก่ น้ำมันข่า (galanga oil) น้ำมันตะไคร้ (lemongrass oil) น้ำมันใบมะกรูด (kaffir lime leaf oil) และน้ำมันมะนาว (lime oil) ร่วมกับเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ จำนวน 12 ชนิด สามารถจำแนกระดับความสำคัญของสารดังกล่าวตามค่า odor activity value (OAV) 3 ระดับ ดังนี้ caryophyllene, citronellal, eucalyptol, geranial และ linalool อยู่ในกลุ่มระดับสูง citronellol, β-myrcene และ neral อยู่ในกลุ่มระดับกลาง และ geranyl acetate, limonene, α-pinene และ terpinolene อยู่ในกลุ่มระดับต่ำ

3. การใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน (MD:GA เท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3) ส่งผลต่อปริมาณผลผลิต (% yield) ค่าสี (ระบบ L* a* b*) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ ตลอดจนความเข้มข้นสัมพัทธ์ (relative concentration) ของสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) ที่ถูกกักเก็บในผงแห้งกลิ่นต้มยำ โดยผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 มีแนวโน้มค่าความเข้มข้นสัมพัทธ์ของ eucalyptol และ geranial ที่ถูกกักเก็บสูงกว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:1 และผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ใช้สัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 และ 1:3 มีความสามารถในการกักเก็บสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำระดับสูงรวม 5 ชนิด ไม่แตกต่างกัน ($p >$

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

0.05) และสูงกว่าการใช้สัดส่วนสารห่อหุ้มอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) แต่การใช้สัดส่วนกัมอราบิกน้อยกว่า (MD:GA เท่ากับ 1:2) ทำให้อิมัลชันมีความหนืดต่ำกว่า ช่วยลดโอกาสการเกิดปัญหาอิมัลชันติดค้างในสายฟีด และการเกิดฟิล์มติดโดยรอบห้องอบแห้งระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ ช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตได้มากกว่าผงแห้งกลิ่นต้มยำ (MD:GA เท่ากับ 1:3) และการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนกัมอราบิกทำให้ปริมาณผลผลิต (% yield) ของผงแห้งกลิ่นต้มยำลดลง (MD:GA เท่ากับ 1:2 และ 1:3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)) นอกจากนี้ยังทำให้ผงแห้งกลิ่นต้มยำเป็นสีเหลืองมากขึ้น และผงแห้งกลิ่นต้มยำทั้งหมดมีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.2 จึงคัดเลือกผงแห้งกลิ่นต้มยำสัดส่วนสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 นำมาศึกษาความคงตัวของผงแห้งกลิ่นต้มยำในช่วงการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง

4. การศึกษาความคงตัวของผงแห้งกลิ่นต้มยำที่ผลิตโดยใช้สัดส่วนของสารห่อหุ้ม MD:GA เท่ากับ 1:2 เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 40 °C, 75 % RH นาน 40 วัน พบว่าปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำ (key Tom-Yum flavor compounds) caryophyllene, eucalyptol และ linalool ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 40.30, 61.84 และ 47.02 ตามลำดับ) เหลืออยู่มากกว่าในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 26.04, 48.16 และ 31.67 ตามลำดับ) ในขณะที่ citronellal และ geranial ของผงแห้งกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 28.11 และ 35.61) เหลืออยู่น้อยกว่าน้ำมันหอมระเหยกลิ่นต้มยำ (ร้อยละ 35.46 และ 35.93) แสดงให้เห็นว่าการห่อหุ้มสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอราบิกสามารถป้องกันการสูญเสียปริมาณสารสำคัญให้กลิ่นรสต้มยำได้ นอกจากนี้ยังไม่พบสารระเหยเกิดขึ้นใหม่จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-ToFMS และสามารถตรวจพบกลิ่นจากสารระเหยให้กลิ่นจำนวน 16 ชนิด ในผงแห้งกลิ่นต้มยำที่เก็บรักษาที่สภาวะเร่งนาน 40 วัน ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่พบในผงแห้งกลิ่นต้มยำผลิตใหม่ (วันที่ 0) และไม่พบกลิ่นผิดปกติ (off-odor) เกิดขึ้นเมื่อตรวจวัดด้วยเครื่อง GC-O นอกจากนี้ผงแห้งกลิ่นต้มยำมีความเป็นสีเหลืองเข้มขึ้น มีค่าปริมาณความชื้น (moisture content) ร้อยละ 5.54 และค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, $a_w$) ต่ำกว่า 0.3

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ข้อเสนอแนะ**

1. ศึกษาการปลดปล่อยสารให้กลิ่นของผงแห้งกลิ่นต้มยำในแบบจำลองอาหาร เพื่อนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างเหมาะสม เช่น การละลายผงแห้งกลิ่นต้มยำในน้ำร้อน ในแบบจำลองอาหารผงซุปต้มยำสำเร็จรูป/ผงปรุงรสต้มยำสำหรับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป และการสัมผัสกับชิ้นอาหารปรุงร้อนเพื่อปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส ในแบบจำลองอาหารเฟรนช์ฟรายส์คลุกผงปรุงรสต้มยำ เป็นต้น

2. หากนำผงแห้งกลิ่นต้มยำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร ควรมีการทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่น การทดสอบแยกความแตกต่าง (discrimination test) ระหว่างสูตรเดิมที่มีขายในท้องตลาดกับสูตรที่มีการใช้ผงแห้งกลิ่นต้มยำเป็นส่วนผสม การทดสอบความชอบหรือการยอมรับ (affective test หรือ hedonic test) ของผู้บริโภคต่ออาหารที่มีผงแห้งกลิ่นต้มยำเป็นส่วนผสม เป็นต้น

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นัทธมน สุวรรณพรหม. (2559). *การเปรียบเทียบสารระเหยง่ายในน้ำมะนาวคั้นสด 4 พันธุ์ โดยใช้เทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรีและเคโมเมทริก*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิชามญชุ์ สว่างสุข และ วรรณี จิรภาคย์กุล. (2550). สารระเหยอิสระและสารระเหยที่ถูกยึดจับในตะไคร้สด. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร* (น. 484-491). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562ก). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ มอก.1681-2562*.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562ข). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด มอก.2079-2562*.

สุมิตรา บุญบำรุง. (2549). *การศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของกลิ่นหอมจากสารสกัดกลิ่นรสต้มยำ* (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Acree, T., & Arn, H. (2004). Flavornet and human odor space. Retrieved from https://www.flavornet.org/

Adamiec, J., Borompichaichartkul, C., Srzednicki, G., Panket, W., Piriyapunsakul, S., & Zhao, J. (2012). Microencapsulation of kaffir lime oil and its functional properties. *Drying Technology, 30*(9), 914-920.

Aldred, E. M. (2009). *Pharmacology: a handbook for complementary healthcare professionals*. China: Churchill Livingstone Elsevier.

Alves, S. F., Borges, L. L., dos Santos, T. O., de Paula, J. R., Conceição, E. C., & Bara, M. T. (2014). Microencapsulation of essential oil from fruits of *Pterodon emarginatus* using gum arabic and maltodextrin as wall materials: composition and stability. *Drying Technology, 32*(1), 96-105.

Anandaraman, S., & Reineccius, G. A. (1986). Stability of encapsulated orange peel oil. *Food technology, 40*(11), 88-93.

Anandharamakrishnan, C., & Ishwarya, S. P. (2015). *Spray drying techniques for food ingredient encapsulation*. Chicago, IL: John Wiley & Sons.

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

AOAC International. (1990). *Official methods of analysis of AOAC International*. Arlington, Va: AOAC International.

Bangs, W. E., & Reineccius, G. A. (1982). Influence of dryer infeed matrices on the retention of volatile flavor compounds during spray drying. *Journal of food science, 47*(1), 254-259.

Bertolini, A., Siani, A., & Grosso, C. (2001). Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49*(2), 780-785.

Bhandari, B., Dumoulin, E., Richard, H., Noleau, I., & Lebert, A. (1992). Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. *Journal of food science, 57*(1), 217-221.

Boonsom, T., & Dumkliang, E. (2018). Microencapsulation of essential oils by spray drying: effect of wall material composition and process conditions. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 12*(2), 48-62.

Bringas‐Lantigua, M., Valdés, D., & Pino, J. A. (2012). Influence of spray‐dryer air temperatures on encapsulated lime essential oil. *International journal of food science & technology, 47*(7), 1511-1517.

Burnside, E. (2014). Hydrocolloids and gums as encapsulating agents. In A. G. Gaonkar, N. Vasisht, A. R. Khare, & R. Sobel (Eds.), *Microencapsulation in the food industry* (pp. 241-252). London, UK: Academic Press.

Chisholm, M. G., Wilson, M. A., & Gaskey, G. M. (2003). Characterization of aroma volatiles in key lime essential oils (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Flavour and Fragrance Journal, 18*(2), 106-115.

Christensson, J. B., Matura, M., Gruvberger, B., Bruze, M., & Karlberg, A. T. (2010). Linalool-a significant contact sensitizer after air exposure. *Contact dermatitis, 62*(1), 32-41.

Clarke, S. (2008). Families of compounds that occur in essential oils. In S. Clarke (Ed.), *Essential Chemistry for Aromatherapy* (2nd ed., pp. 41-77). Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier.

de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate polymers, 101*, 524-532.

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Silva, E. K., da Silva, Y. F., de Souza, H. J. B., do Carmo, E. L., . . . Botrel, D. A. (2016). Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. *Industrial Crops and Products, 94*, 413-423.

Deis, R. C. (1997). Spray-drying innovative use of an old process. *Food Product Design, 7*, 97-113.

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

Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. *Medicines, 3*(4), 25.

Grassmann, J., & Elstner, E. F. (2003). Essential oils: properties and uses. In B. Caballero, L. Trugo, & P. M. Finglas (Eds.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 2177-2184). San Diego, CA: Academic Press.

Gupta, S., Khan, S., Muzafar, M., Kushwaha, M., Yadav, A. K., & Gupta, A. P. (2016). Encapsulation: entrapping essential oil/flavors/aromas in food. In A. M. Grumezescu (Ed.), *Encapsulations* (pp. 229-268). London, UK: Academic Press.

Hagvall, L., Sköld, M., Bråred-Christensson, J., Börje, A., & Karlberg, A. T. (2008). Lavender oil lacks natural protection against autoxidation, forming strong contact allergens on air exposure. *Contact dermatitis, 59(3)*, 143-150.

Hill, D. K. (n.d.). The dŌTERRA essential oil chemistry handbook (3rd ed.). Retrieved from https://media.doterra.com/us/en/ebooks/essential-oil-chemistry-handbook.pdf?_ga=2.66214446.1411422590.1653385286-63529585.1653385286

Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). *Modern food microbiology* (7th ed.). New York, NY: Springer

Jirapakkul, W., Tinchan, P., & Chaiseri, S. (2013). Effect of drying temperature on key odourants in kaffir lime (*Citrus hystrix* D.C., Rutaceae) leaves. *International journal of food science & technology, 48*(1), 143-149.

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Kaul, P. N., Rajeswara Rao, B. R., Bhattacharya, A. K., Mallavarapu, G. R., & Ramesh, S. I. (1997). Changes in chemical composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) oil during storage. *Journal of Essential Oil Research, 9*(1), 115-117.

Kausadikar, S., Gadhave, A. D., & Waghmare, J. (2015). Microencapsulation of lemon oil by spray drying and its application in flavour tea. *Advances in Applied Science Research, 6*(4), 69-78.

Klinjapo, R., & Krasaekoopt, W. (2018). Microencapsulation of color and flavor in confectionery products. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes* (pp. 457-494). London, UK: Academic Press.

Kubota, K., Someya, Y., Kurobayashi, Y., & Kobayashi, A. (1999). Flavor characteristics and stereochemistry of the volatile constituents of greater galangal (*Alpinia galanga* Willd.). In F. Shahidi & C.-T. Ho (Eds.), *Flavor chemistry of ethnic foods* (pp. 97-104). Boston, MA: Springer.

Leffingwell & Associates. (2016). Flavor-Base 10th edition (demo). Retrieved from http://www.leffingwell.com/flavbase.htm

Li, J. M., & Nie, S. P. (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids, 53*, 46-61.

Loksuwan, J. (2009). *Stability of spray-dried microencapsulated citral.* Paper presented at the XVIIth International Conference on Bioencapsulation, Groningen, Netherlands.

Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release-a review. *International journal of food science & technology, 41*(1), 1-21.

Majumdar, A., Pradhan, N., Sadasivan, J., Acharya, A., Ojha, N., Babu, S., & Bose, S. (2018). Food degradation and foodborne diseases: a microbial approach. In A. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Microbial contamination and food degradation* (pp. 109-148). London, UK: Academic Press.

Mäki-Arvela, P., Tiainen, L.-P., Lindblad, M., Demirkan, K., Kumar, N., Sjöholm, R., . . . Murzin, D. Y. (2003). Liquid-phase hydrogenation of citral for production of citronellol: catalyst selection. *Applied Catalysis A: General, 241*(1-2), 271-288.

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Misharina, T., Polshkov, A., Ruchkina, E., & Medvedeva, I. (2003). Changes in the composition of the essential oil of marjoram during storage. *Applied Biochemistry and Microbiology, 39*(3), 311-316.

Mohammed, N. K., Tan, C. P., Manap, Y. A., Muhialdin, B. J., & Hussin, A. S. M. (2020). Spray drying for the encapsulation of oils-a review. *Molecules, 25*(17), 3873.

Nguyen, D. Q., Mounir, S., & Allaf, K. (2017). Optimization of the spray drying operating conditions for producing the powder mixture of gum arabic and maltodextrin. *International Journal of Food Engineering, 13*(8).

Nikkola, J. (2016). Smart multifunctional hybrid coatings with adjustable permeability for migration barriers. In M. F. Montemor (Ed.), *Smart Composite Coatings and Membranes* (pp. 351-370). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Noriega, P. (2021). Terpenes in Essential Oils: Bioactivity and Applications. In S. Perveen & A. M. Al-Taweel (Eds.), *Terpenes and Terpenoids-Recent Advances* (pp. 13-26). London, UK: IntechOpen.

Ophardt, C. E. (2003). Virtual chembook: Molecular polarity. Retrieved from http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/210polarity.html

Ortega, J. M., Scapim, M. R. d. S., & Bergamasco, R. d. C. (2017). Microencapsulation and release of clove essential oil from maltodextrin/xanthan gum microcapsule. Retrieved from https://proceedings.science/sinaferm/sinaferm-2017/papers/microencapsulation-and-release-of-clove-essential-oil-from-maltodextrin-xanthan-gum-microcapsule

Özdemir, K. S., Azarabadi, N., & Topuz, A. (2018). Microencapsulation of bergamot peel essential oil with gum arabic and maltodextrin blends: stability and release characteristics of the essential oil compounds. *Gida, 43*(6), 957-970.

Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2009). Gum arabic. In G. O. Phillips & P. A. Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids* (2nd ed., pp. 252-273). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Premi, M., & Sharma, H. (2017). Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. *International journal of biological macromolecules, 105*, 1232-1240.

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Preuss, F. R. (1964). Uber photomechanische Veränderungen von Bestandteilen des Kümmelöles. *Dtsch Apoth Ztg, 104*, 1797-1803.

Ravindran, P. N., Pillai, G. S., Balachandran, I., & Divakaran, M. (2012). Galangal. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of herbs and spices* (2nd ed., pp. 303-318). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Scott, R. P. W. (2005). Essential oils. In P. Worsfold, A. Townshend, & C. Poole (Eds.), *Encyclopedia of analytical science* (2nd ed., pp. 554-561). Amsterdam, London, New York: Elsevier.

Shahidi Noghabi, M., & Molaveisi, M. (2020). Microencapsulation optimization of cinnamon essential oil in the matrices of gum Arabic, maltodextrin, and inulin by spray-drying using mixture design. *Journal of Food Process Engineering 43*(2), e13341.

Skaria, B. P., Joy, P. P., Mathew, S., & Mathew, G. (2006). Lemongrass. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of herbs and spices* (pp. 400-419). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Soottitantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., & Linko, P. (2005). Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 6*(1), 107-114.

Sosa, N., Zamora, M. a. C., Chirife, J., & Schebor, C. (2011). Spray-drying encapsulation of citral in sucrose or trehalose matrices: physicochemical and sensory characteristics. *International journal of food science & technology, 46*(10), 2096-2102.

The Good Scents Company. (2018). The Good Scents Company Information System: Providing information for the Flavor, Fragrance, Food and Cosmetic industries. Retrieved from http://www.thegoodscentscompany.com

Thuong Nhan, N. P., Tan Thanh, V., Huynh Cang, M., Lam, T. D., Cam Huong, N., Hong Nhan, L. T., . . . Bach, L. G. (2020). Microencapsulation of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil via spray drying: Effects of feed emulsion parameters. *Processes, 8*(1), 40.

Tran, T. H., Tran, T. K. N., Ngo, T. C. Q., Pham, T. N., Bach, L. G., Phan, N. Q. A., & Le, T. H. N. (2021). Color and composition of beauty products formulated with lemongrass essential oil: Cosmetics formulation with lemongrass essential oil. *Open Chemistry, 19*(1), 820-829.

Turek, C., & Stintzing, F. C. (2013). Stability of essential oils: a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety, 12*(1), 40-53.

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Wongpornchai, S. (2012). Kaffir lime leaf. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of herbs and spices* (2nd ed., pp. 319-328). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Yoshii, H., Soottitantawat, A., Liu, X. D., Atarashi, T., Furuta, T., Aishima, S., . . . Linko, P. (2001). Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2*(1), 55-61.

Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010). Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In N.J. Zuidam & V. Nedovic (Eds.), *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing* (pp. 3-29). New York, NY: Springer.

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

# ภาคผนวก

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**ภาคผนวก ก**

ข้อกำหนดคุณภาพสินค้า (specification) ของน้ำมันหอมระเหยข่า ตะไคร้ ใบมะกรูดและมะนาว

ข้อมูลจากบริษัท อุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด

และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และใบมะกรูด

ข้อมูลจาก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**1. ข้อกำหนดคุณภาพสินค้า (specification) ของน้ำมันข่า**

| | |
|---|---|
| Product name | : Galanga Oil |
| Product code | : 201-40018 |
| Country of Origin | : Thailand |
| Product type | : Essential Oil 100 % |
| INCI Name | : Alpinia Galanga Rhizome Extract |
| CAS No. | : 84625-26-3 |
| Production | : This essential oil is obtained by steam distillation of *Alpinia galanga* |
| Application | : Raw material for the production of foods, beverages, cosmetics and household products. |
| Colour and appearance | : Colourless to lemon-yellow and clear liquid |
| Odour | : Fresh, spicy camphoraceous odour and herby note |
| Specific gravity (20/20°C) | : 0.8950-0.9150 |
| Refractive index (20°C) | : 1.4684-1.4884 |
| Principal Constituents | : 1,8-cineole 55 %, Caryophyllene 5 %, Terpinene-4-ol 3.5 % |
| Recommended dosage | : 0.01-0.2 % (For seasoning) |
| Storage | : Keep in cool, preferably at about 20-25°C dry place andprotect from light. Keep containers tightly sealed |
| Shelf life | : 24 Months quality should be checked visually & olfactory beforeeach use and fully checked after the shelf life period |

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**2. ข้อกำหนดคุณภาพสินค้า (specification) ของน้ำมันตะไคร้**

| | |
|---|---|
| Product name | : Lemongrass Oil |
| Product code | : 201-40003 |
| Country of Origin | : Thailand |
| Product type | : Essential Oil 100 % |
| INCI Name | : Cymbopogon Citratus Leaf Oil |
| CAS No. | : 89998-14-1 |
| Production | : The natural essential oil is obtained by steam distillation the grass of *Cymbopogon citratus* Stapf. (Family of Gramineae) |
| Application | : Raw material for the production of foods, beverages, cosmetics andhousehold products. |
| Colour and appearance | : Yellow, yellow-brown or reddish-brown and clear liquid |
| Odour | : Fresh green - sweet lemon fruit odour |
| Specific gravity (20/20$^{o}$C) | : 0.8750-0.8850 |
| Refractive index (20$^{o}$C) | : 1.4800-1.4900 |
| Principal Constituents | : Citral 60-80 % |
| Solubility Test | : Clear liquid (in 0.5 part of 90 % ethyl alcohol) |
| Storage | : Keep in cool, preferably at about 20-25$^{o}$C dry place and protect from light. Keep containers tightly sealed |
| Shelf life | : 24 Months quality should be checked visually & olfactory beforeeach use and fully checked after the shelf life period |

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**3. ข้อกำหนดคุณภาพสินค้า (specification) ของน้ำมันใบมะกรูด**

| | |
|---|---|
| Product name | : Kaffir Lime Leaf Oil |
| Product code | : 201-40011 |
| Country of Origin | : Thailand |
| Product type | : Essential Oil 100 % |
| INCI Name | : Citrus Hystrix Leaf Oil |
| CAS No. | : 91771-50-5 |
| Production | : Kaffir lime leaf oil which is natural essential oil is obtained by steamdistillation of the fresh leaves of the kaffir lime *citrus hystrix* DC. (Family of Rutaceae) |
| Application | : Raw material for the production of foods, beverages, cosmetics andhousehold products. |
| Colour and appearance | : Colourless to pale yellow and clear liquid |
| Odour | : Strong special lemon and lime odour |
| Specific gravity (20/20$^{o}$C) | : 0.8500-0.8700 |
| Refractive index (20$^{o}$C) | : 1.4500-1.4600 |
| Principal Constituents | : Citronellal $\geq$ 65 |
| Storage | : Keep in cool, preferably at about 20-25$^{o}$C dry place andprotect from light. Keep containers tightly sealed |
| Shelf life | : 24 Months quality should be checked visually & olfactory beforeeach use and fully checked after the shelf life period |

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**4. ข้อกำหนดคุณภาพสินค้า (specification) ของน้ำมันมะนาว**

| | |
|---|---|
| Product name | : Lime Oil |
| Product code | : 201-20020 |
| Country of Origin | : China |
| Product type | : Essential Oil 100 % |
| INCI Name | : Citrus Aurantifolia (Lime) Oil |
| CAS No. | : 8008-26-2 |
| Production | : Essential oil by cold expression the peel of the unripe fruit of *Citrus aurantifolia* Swing (Family of Rutaceae) |
| Application | : Raw material for the production of foods, beverages, cosmetics andhousehold products. |
| Colour and appearance | : Colourless to pale yellow or pale green and clear liquid |
| Odour | : Fresh sweet citrus peel odour |
| Specific gravity (20/20$^{o}$C) | : 0.8520-0.8720 |
| Refractive index (20$^{o}$C) | : 1.4680-1.4840 |
| Storage | : Keep in cool, preferably at about 20-25$^{o}$C dry place and protect from light. Keep containers tightly sealed. |
| Shelf life | : 12 Months quality should be checked visually & olfactory beforeeach use and fully checked after the shelf life period |

Copyright by Kasetsart University All rights reserved

**5. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ (มอก.1681-2562)**

**คุณลักษณะทางเคมี: โครมาโทแกรม**

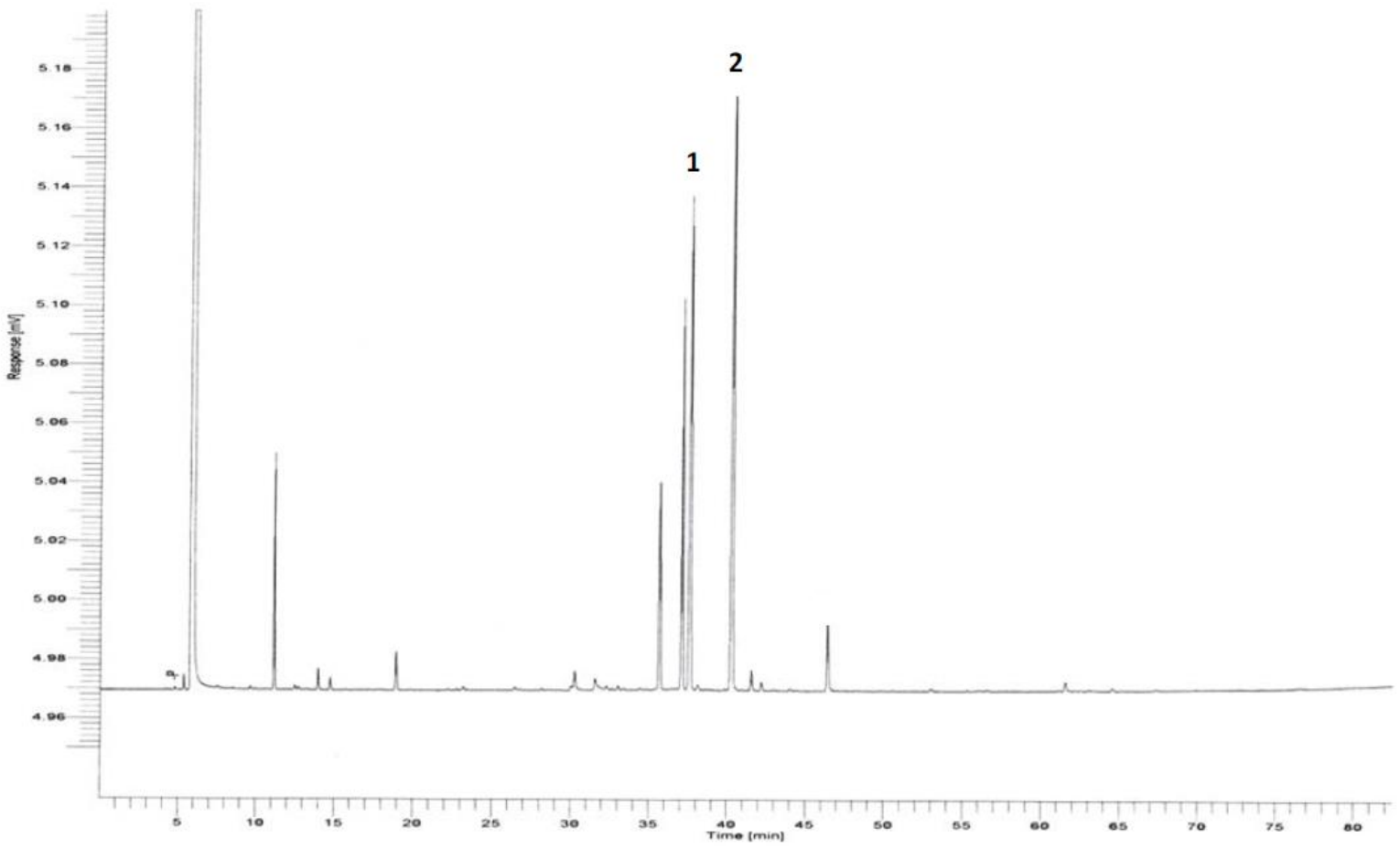
ต้องมีซิทราล (คำนวณผลรวมของนีรัล (neral) และเจอรานิอัล (geranial)) ไม่น้อยกว่า 75 %

**การทดสอบ: การทดสอบคุณลักษณะทางเคมี**

ให้ปฏิบัติตาม ISO 11024-1 และ ISO 11024-2 โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟ

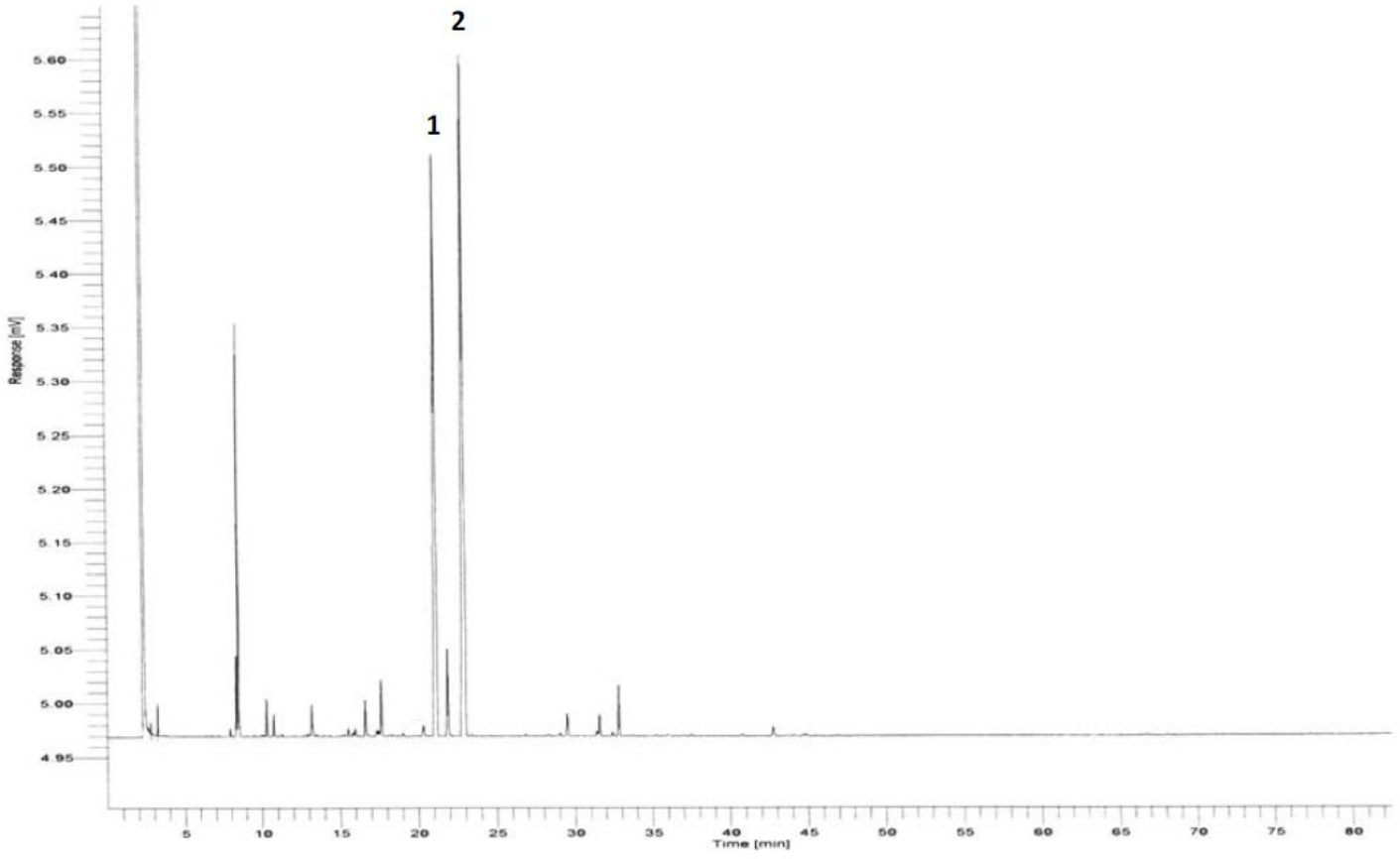
Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Copyright by Kasetsart University All rights reserved




**ภาพผนวกที่ ก1** ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่ได้จากคอลัมน์ชนิดมีขั้ว (polar column) โดยพีคที่ 1 คือนีรัล (neral) และพีคที่ 2 คือเจอรานีอัล (geranial)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved




**ภาพผนวกที่ ก2** ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ที่ได้จากคอลัมน์ชนิดไม่มีขั้ว (non-polar column) โดยพีคที่ 1 คือนีรัล (neral) และพีคที่ 2 คือ เจอรานีอัล (geranial)

**6. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด (มอก.2079-2562)**

**คุณลักษณะทางเคมี: การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ**

ต้องได้โครมาโทแกรม ที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีตารางผนวกที่ ก1

**ตารางผนวกที่ ก1** องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูด

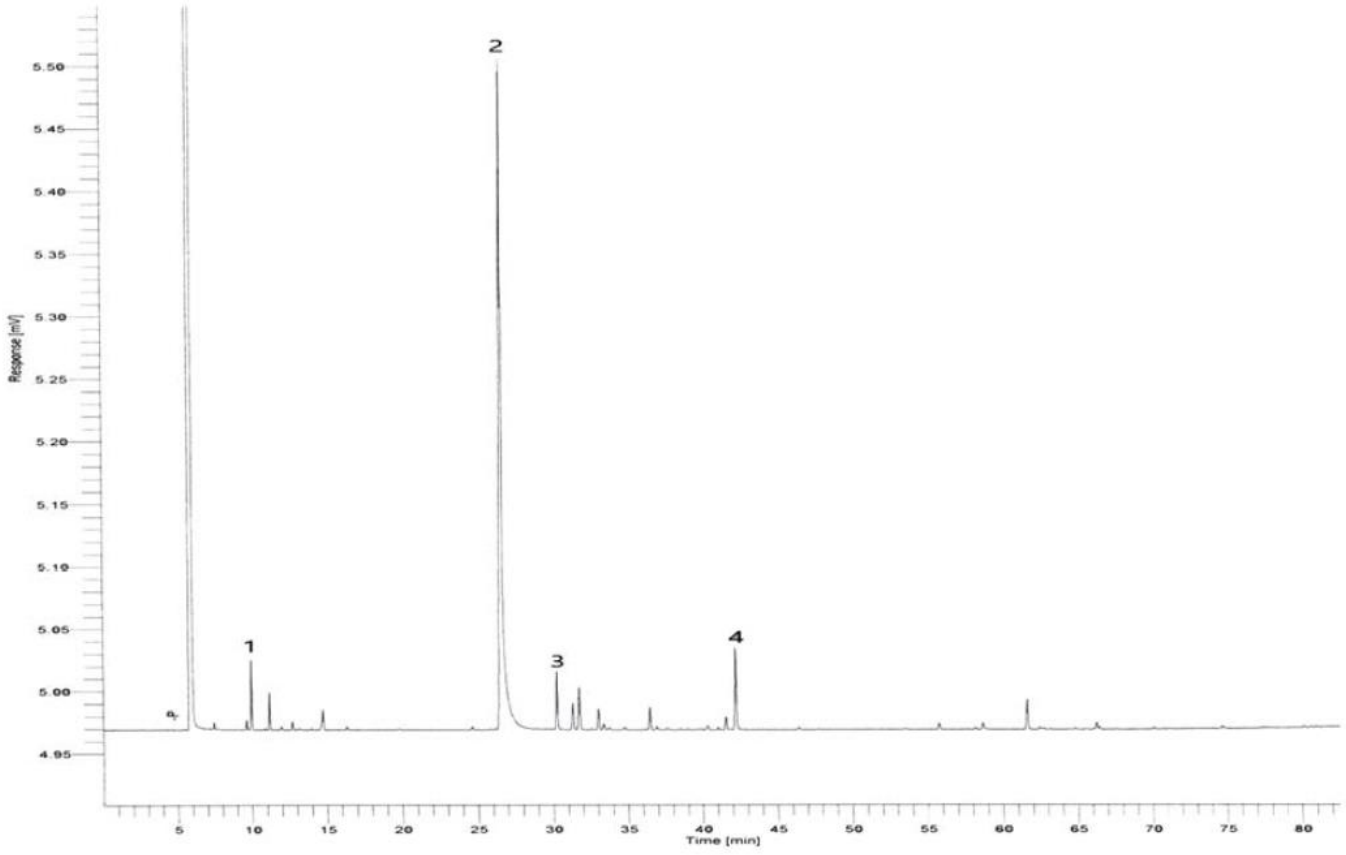
| ลำดับที่ | องค์ประกอบ | เกณฑ์ที่กำหนด | |
|---|---|---|---|
| | | ต่ำสุด (%) | สูงสุด (%) |
| 1 | แซบินีน (sabinene) | 2.0 | 5.0 |
| 2 | ซิโทรเนลลัล (citronellal) | 70.0 | 85.0 |
| 3 | ไลนาโลออล (linalool) | 2.0 | 5.0 |
| 4 | บีตา-ซิโทรเนลลอล (β-citronellol) | 4.0 | 11.0 |

**การทดสอบ: การทดสอบคุณลักษณะทางเคมี**

ให้ปฏิบัติตาม ISO 11024-1 และ ISO 11024-2 โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟ

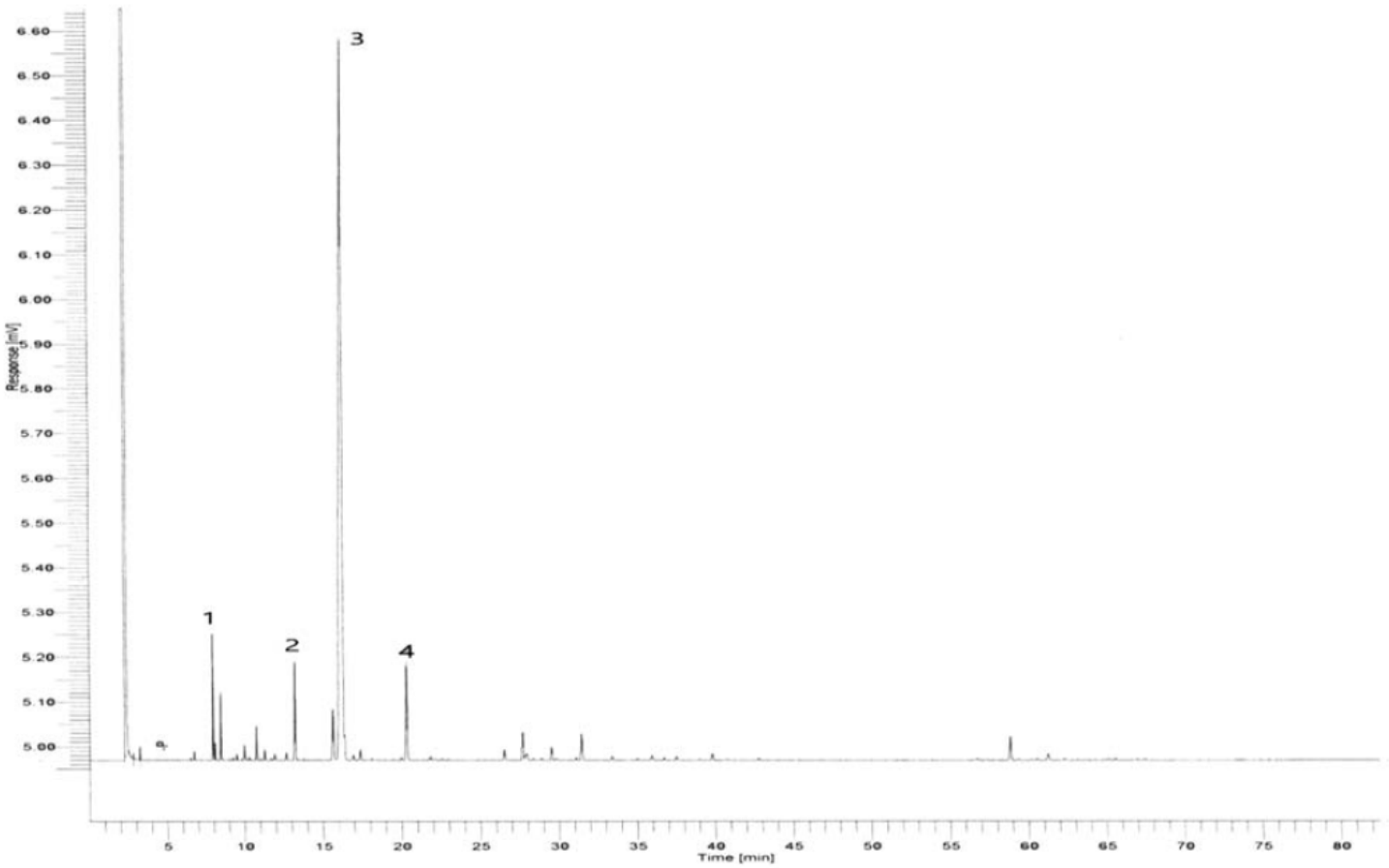
Copyright by Kasetsart University All rights reserved

Copyright by Kasetsart University All rights reserved




**ภาพผนวกที่ ก3** ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูดที่ได้จากคอลัมน์ชนิดมีขั้ว (polar column)โดยพีคที่ 1 คือแซบินีน (sabinene) พีคที่ 2 คือซิโทรเนลลัล (citronellal) พีคที่ 3 คือไลนาโลออล (linalool) และพีคที่ 4 คือ บีตา-ซิโทรเนลลอล (β-citronellol)

Copyright by Kasetsart University All rights reserved




**ภาพผนวกที่ ก4** ตัวอย่างโครมาโทแกรมน้ำมันหอมระเหยใบมะกรูดที่ได้จากคอลัมน์ชนิดไม่มีขั้ว (non-polar column) โดยพีคที่ 1 คือแซบินีน (sabinene) พีคที่ 2 คือซิโทรเนลลัล (citronellal) พีคที่ 3 คือไลนาโลออล (linalool) และพีคที่ 4 คือ บีตา-ซิโทรเนลลอล ( β-citronellol)

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-นามสกุล** | นางสาวณพรรษสร ทองพิมพ์ใหญ่ |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 19 มกราคม 2536 |
| **สถานที่เกิด** | กรุงเทพมหานคร |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | 99/223 หมู่บ้านชวนชื่นรามอินทรา ซอยรามอินทรา 65 แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กทม. 10230 |
| **ประวัติการศึกษา** | วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| **ประสบการณ์การทำงาน** | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| **ทุนการศึกษา** | ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ |

Copyright by Kasetsart University All rights reserved