บทความการศึกษาต่อเนื่อง

ทิศทางการพัฒนาน้ำหอมและเทคโนโลยีสร้างสรรค์กลิ่นในระดับอุตสาหกรรม

รองศาสตราจารย์ ดร. อรสร สารพันโชติวิทยา
ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร. พัฒนา ศรีพลากิจ
ภาควิชาเภสัชเคมีและเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รหัสกิจกรรม 1007-1-000-007-11-2568
จำนวนหน่วยกิต 2.50 หน่วยกิตการศึกษาต่อเนื่อง
วันที่รับรอง 4 ธันวาคม 2568
วันที่หมดอายุ : 3 ธันวาคม 2569

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมน้ำหอมเป็นหนึ่งในภาคส่วนของธุรกิจเครื่องสำอางที่ผสานองค์ความรู้ด้านเคมี เทคโนโลยี และศิลปะเข้าด้วยกันอย่างลงตัว การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำหอมในยุคปัจจุบันให้ความสำคัญกับความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ มีความคงตัว ให้ประสบการณ์ทางอารมณ์ที่น่าประทับใจ มีความปลอดภัยในการใช้ และสนับสนุนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน อุตสาหกรรมการผลิตน้ำหอมจึงมีการปรับตัวในหลากหลายแนวทาง เช่น การใช้สารหอมจากธรรมชาติ การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น เทคโนโลยีชีวภาพ ปัญญาประดิษฐ์ และระบบดิจิทัลเพื่อสร้างสรรค์และจำลองกลิ่นใหม่ที่มีเอกลักษณ์ นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เช่น การสังเคราะห์สารหอมด้วยกระบวนการแบบไหลต่อเนื่อง และเทคโนโลยีการนำส่งน้ำหอมที่ช่วยควบคุมการระเหยและการปลดปล่อยกลิ่นให้ยาวนานขึ้น ปัจจัยเหล่านี้มีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำหอม ดังนั้น การบูรณาการองค์ความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาในกระบวนการผลิตน้ำหอมจึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง ปลอดภัย และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะสำหรับเภสัชกร นักวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง และผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อการเรียนรู้แนวทางการผลิตน้ำหอมในระดับอุตสาหกรรม
2. เพื่อการเรียนรู้เทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบและผลิตน้ำหอมในระดับอุตสาหกรรม

บทนำ

กลิ่นหอมเป็นองค์ประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคหลากหลายประเภท ไม่จำกัดเฉพาะน้ำหอมหรือผลิตภัณฑ์บำรุงผิวเท่านั้น แต่ยังพบได้ในผลิตภัณฑ์สุขอนามัยส่วนบุคคล ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ผลิตภัณฑ์ดูแลบ้านเรือน และแม้แต่ในบรรจุภัณฑ์อาหาร กลิ่นหอมมีบทบาทในการสร้างความพึงพอใจ กระตุ้นอารมณ์ และส่งเสริมความทรงจำของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยเฉพาะในยุคที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับประสบการณ์และอัตลักษณ์ของแบรนด์ กลิ่นจึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างความแตกต่างและความต่อเนื่องในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์

เรื่องราวของน้ำหอมได้รับการบันทึกในประวัติศาสตร์อย่างยาวนานนับพันปี โดยมีหลักฐานการใช้กลิ่นหอมในพิธีกรรมทางศาสนา การดูแลสุขภาพ และการแสดงสถานะทางสังคมตั้งแต่ยุคเมโสโปเตเมีย อียิปต์โบราณ สำหรับในยุโรป น้ำหอมได้รับความนิยมอย่างสูงในยุคเรเนซองส์ โดยมีการพัฒนาเทคนิคการกลั่นและการสกัดกลิ่นอย่างเป็นระบบ จนกระทั่งเข้าสู่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนสำคัญที่ทำให้การผลิตน้ำหอมสามารถขยายสู่ตลาดผู้ใช้ทุกระดับได้อย่างกว้างขวาง ด้วยการใช้สารสังเคราะห์ทดแทนหรือใช้ผสมผสานกับวัตถุดิบธรรมชาติ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลงและสามารถควบคุมคุณภาพได้ดีขึ้น[1]

ข้อมูลจาก Statista คาดว่าในปี 2025 มูลค่าตลาดน้ำหอมจะอยู่ที่ประมาณ 61.94 พันล้านดอลลาร์สหรัฐและจะเติบโตในอัตราเฉลี่ย 2.69% ต่อปี จนถึงปี 2029[2] ในทำนองเดียวกัน Grand View Research คาดว่ามูลค่าตลาดน้ำหอมจะเพิ่มขึ้นเป็น 80.16 พันล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2030 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 5.9% ต่อปี การที่ตลาดน้ำหอมทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง มาจากปัจจัยขับเคลื่อนหลัก ได้แก่ ความต้องการผลิตภัณฑ์เฉพาะบุคคล ความสนใจด้านสุขอนามัย และความนิยมในสินค้าระดับพรีเมียมที่สะท้อนภาพลักษณ์และอัตลักษณ์ของผู้ใช้[3]

ในยุคปัจจุบัน ผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับความยั่งยืนและจริยธรรมของผลิตภัณฑ์มากขึ้น อุตสาหกรรมน้ำหอมจึงเริ่มปรับตัวโดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่ยั่งยืน ลดการใช้พลาสติกในบรรจุภัณฑ์ และพัฒนากระบวนการผลิตที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียน การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรีไซเคิลได้ และการแสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์อย่างโปร่งใส นอกจากนี้ ยังมีการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาประยุกต์ใช้มากขึ้น เช่น การสกัดสารหอมด้วยเทคนิคขั้นสูง ได้แก่ Supercritical Fluid Extraction (SFE), Microwave-assisted Extraction (MAE) และ Enzyme-assisted Extraction (EAE), การออกแบบระบบนำส่งกลิ่น (Fragrance Delivery Systems), การตรึงกลิ่นเพื่อเพิ่มความคงตัว และการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) ทั้งในการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภคและการออกแบบสูตรน้ำหอมเฉพาะบุคคล ตลอดจนการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจำลองกลิ่น (digital olfaction) และการพัฒนาระบบ smart release ที่สามารถปล่อยกลิ่นตามสภาพแวดล้อมหรือพฤติกรรมการใช้งาน[1]

บทความนี้ได้นำเสนอภาพรวมของแนวทางการพัฒนาการผลิตน้ำหอม เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมน้ำหอม เพื่อเป็นความรู้และการกำหนดบทบาทของผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำหอมที่มีคุณภาพ ปลอดภัย และยั่งยืน สามารถรองรับความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน และส่งเสริมการเติบโตของอุตสาหกรรมเครื่องสำอางอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

1. ผลิตภัณฑ์น้ำหอมและผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางดูแลผิวที่มีส่วนผสมของน้ำหอม

การใช้ผลิตภัณฑ์น้ำหอมมีจุดมุ่งหมายเพื่อการได้รับกลิ่นที่พึงพอใจ และสร้างบรรยากาศแห่งความสดชื่นแก่ผู้ใช้ รูปแบบที่พบได้ทั่วไปคือ “น้ำหอมที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ (alcoholic fragrance solution)” การจำแนกประเภทน้ำหอมนิยมใช้เกณฑ์ปริมาณหัวน้ำหอมที่ผสมในสูตร ได้แก่ Eau de fraiche (1–3%), Eau de cologne (2–4%), Eau de toilette (5–15%), Eau de perfume (5–20%) และ Parfum (20–30%) นอกจากนี้ยังพบการกำหนดประเภทในชื่ออื่นๆ ที่ต่างออกไป เช่น fresh water (7%), toilet water (12-15%), perfume water (17-20%) และ fragrance (30-40%)[4,5] ซึ่งอาจมีสัดส่วนหัวน้ำหอมแตกต่างกันไปตามแต่ละแบรนด์

นอกจากน้ำหอมรูปแบบของเหลวแล้ว ยังมีการพัฒนาน้ำหอมในรูปแบบอื่นๆ เช่น “ครีมหรือโลชันน้ำหอม และรูปแบบขี้ผึ้งหรือบาล์มน้ำหอม” ซึ่งสะดวกต่อการพกพา แต่อาจไม่เหมาะกับสภาพอากาศร้อน เนื่องจากอาจทำให้รู้สึกเหนอะหนะหรือผลิตภัณฑ์เสียรูปทรงได้ง่าย อีกรูปแบบหนึ่งของน้ำหอมที่ได้รับความนิยมคือ “เจลน้ำหอม” ซึ่งมักออกแบบให้เนื้อเจลซึมซาบง่าย ไม่เหนียวเหนอะหนะ และให้กลิ่นหอมที่คงทน การใช้สารตรึงกลิ่น (fixatives) หรือเทคโนโลยีที่ช่วยเสริมการเกาะติดของกลิ่นบนผิวมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้

นอกจากน้ำหอมจะช่วยเสริมสร้างอารมณ์แก่ผู้ใช้และคนรอบข้างแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์น้ำหอมในรูปแบบที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพผิวร่วมด้วย เช่น การใช้สารหอมหรือหัวน้ำหอมชนิดน้ำมันหอมระเหยที่มีสรรพคุณในการบำรุงผิว เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ชะลอการเกิดริ้วรอย ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้น ต้านการอักเสบ และส่งเสริมการฟื้นฟูผิว การออกแบบสูตรผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้ควรประเมินความเข้ากันได้ระหว่างน้ำหอมกับส่วนผสมอื่น ๆ รวมถึงการทดสอบความปลอดภัยอย่างครอบคลุม เนื่องจากอาจต้องใช้น้ำมันหอมระเหยในปริมาณที่มากพอที่จะมีฤทธิ์ตามคาดหวัง[1]

2. แนวทางการผลิตน้ำหอมในระดับอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมน้ำหอมและเครื่องสำอางในปัจจุบันกำลังเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภครุ่นใหม่ที่มีความรู้ ความตระหนัก และความคาดหวังสูงต่อผลกระทบของผลิตภัณฑ์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม มีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัย ยั่งยืน และมีความรับผิดชอบต่อสังคม ในปี ค.ศ. 2025 หลายองค์กรและสื่อด้านความงามชื่อดังในโซเชียลมีเดีย เช่น Byrdie, Vogue, ELLE และ Mintel ได้เผยแพร่การคาดการณ์แนวโน้มกลิ่นและทิศทางการพัฒนาในอุตสาหกรรมน้ำหอม[6-9] ซึ่งสะท้อนถึงความเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมผู้บริโภค การให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์เฉพาะบุคคล ความยั่งยืน และแนวคิดด้านสุขภาพ ส่งผลให้นักวิทยาศาสตร์เครื่องสำอางและเภสัชกรซึ่งมีบทบาทในการพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์น้ำหอม จำเป็นต้องเข้าใจแนวโน้มเหล่านี้ เพื่อสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์น้ำหอมที่สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาในยุคปัจจุบัน[1] ดังนี้

2.1 การเลือกใช้สารหอมจากธรรมชาติในการพัฒนาน้ำหอม

จากแนวโน้มที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับความปลอดภัย ความยั่งยืน และความเชื่อมโยงกับธรรมชาติ ดังนั้น การพัฒนาน้ำหอมโดยใช้สารหอมจากธรรมชาติจึงเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเครื่องหอม น้ำมันหอมระเหย (essential oils) ถือเป็นทรัพยากรสำคัญในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เพราะนอกจากให้กลิ่นหอมตามธรรมชาติแล้ว บางชนิดยังมีฤทธิ์เป็นสารกันเสียและสารออกฤทธิ์ที่เป็นประโยชน์ต่อผิว อีกทั้งยังสอดคล้องกับกระแสความต้องการส่วนผสมจากธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้หลายบริษัทให้ความสนใจในการใช้น้ำมันหอมและวัตถุดิบจากพืชที่ผ่านการแปรรูปน้อย เพื่อลดความเสี่ยงจากสารแต่งกลิ่นสังเคราะห์ที่อาจเป็นอันตราย ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่นิยมใช้ในตำรับน้ำหอม ได้แก่ น้ำมันส้ม (citrus), ลาเวนเดอร์ (lavender), ยูคาลิปตัส (eucalyptus) และทีทรี (tea tree) ขณะที่สารสำคัญที่แยกได้จากน้ำมันหอมเหล่านี้ เช่น linalool, geraniol, limonene, citronellol และ citral ได้รับการนำไปใช้เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำหอมในเครื่องสำอางหลากหลายประเภท[10]

2.2 การพัฒนาน้ำหอมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

กระแสการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกำลังได้รับความสนใจอย่างมากทั้งในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและน้ำหอม โดยมุ่งเน้นการลดผลกระทบต่อระบบนิเวศ ตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกวัตถุดิบ โดยการกำหนดแนวทางการจัดหาวัตถุดิบจากแหล่งธรรมชาติที่มีการฟื้นฟูและดูแลอย่างยั่งยืน การเลือกใช้สารสกัดจากพืชที่ปลูกแบบออร์แกนิกและได้รับการรับรอง การเลือกใช้ส่วนผสมที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกขั้นตอนของห่วงโซ่การผลิต การใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิต ไปจนถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำ (recycle) ได้ ตลอดจนการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมตามโอกาส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์น้ำหอมสามารถตอบโจทย์ทั้งด้านประสิทธิภาพและความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างเช่น การใช้กระบวนการชีวสังเคราะห์ในการผลิตกลิ่นอำพัน (amber) และเนื้อไม้ (woody) ทดแทนการนำมาจากแหล่งที่มาตามธรรมชาติ[1] ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของพืชหรือการใช้ทรัพยากรเกินขีดจำกัด การพัฒนาแนวทางการปลูกพืชแบบยั่งยืนและการสกัดสารหอมแบบลดการใช้พลังงาน เช่น การใช้ CO_2 extraction เพื่อผลิตสารหอมจากดอกกุหลาบบัลแกเรีย (Bulgarian rose oil) ซึ่งให้กลิ่นหอมหวานลุ่มลึกและเป็นที่นิยมในการผลิตน้ำหอมระดับ high-end และในการผลิตแบบเดิมต้องใช้ดอกกุหลาบจำนวนมากในการสกัด[11]

2.3 การใช้กลิ่นที่ช่วยปรับอารมณ์

กลิ่นสามารถช่วยปรับอารมณ์และเพิ่มคุณภาพชีวิตแก่ผู้ใช้ได้ มีรายงานว่าน้ำมันหอมระเหย (essential oils) หรือน้ำมันระเหยง่าย (volatile oils) สามารถผ่าน blood-brain barrier ไปยังเนื้อเยื่อสมองได้โดยผ่าน nasal-brain pathway และไปมีผลต่อ cerebral cortex, thalamus และ limbic system ในสมอง จึงมีส่วนช่วยบรรเทาอาการวิตกกังวล ซึมเศร้า และปรับปรุงคุณภาพการนอนหลับ ตลอดจนมีผลต่ออารมณ์และความทรงจำ อุตสาหกรรมน้ำหอมจึงมีการออกแบบน้ำหอมที่ใช้กลิ่นเพื่อเสริมสร้างอารมณ์ต่างๆ เช่น กลิ่นลาเวนเดอร์ (lavender) ที่ช่วยลดความเครียด ช่วยในการนอนหลับ กลิ่นส้มหรือซิตรัส (citrus) ที่ช่วยให้รู้สึกถึงความกระปรี้กระเปร่า มีพลัง สดชื่น และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสมอง[12,13] ทั้งสองกลิ่นนี้ได้รับความนิยมทั้งในน้ำหอม ผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพและผลิตภัณฑ์ปรับอากาศภายในบ้าน

นอกจากนี้ อุตสาหกรรมน้ำหอมยังพัฒนากลิ่นที่ให้ความรู้สึกอบอุ่นและกระตุ้นความทรงจำในวัยเด็ก เช่น กลิ่นขนม (gourmand notes) ได้แก่ กลิ่นน้ำผึ้ง วานิลลา และคาราเมล รวมถึงกลิ่นผลไม้ (fruity-like fragrances) และกลิ่นลูกอม (candy-like fragrances) ซึ่งมักใช้เพื่อสร้างบรรยากาศที่สนุกสนาน อบอุ่น และชวนให้นึกย้อนถึงความทรงจำในวัยเด็ก กลิ่นในกลุ่มนี้ เช่น กลิ่นหมากฝรั่ง (bubblegum) และกลิ่นสายไหม (cotton candy) ถูกระบุว่าสามารถกระตุ้นความคิดถึงและความทรงจำในวัยเด็กได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะกลิ่นที่คุ้นเคยในวัยเด็กจะสามารถกระตุ้นความคิดถึงได้มากกว่ากลิ่นประเภทอื่น สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของกลิ่นต่อการปลุกเร้าความทรงจำและประสบการณ์ทางอารมณ์[14]

2.4 การใช้กลิ่นที่ได้แรงบันดาลใจจากวัฒนธรรมและธรรมชาติเฉพาะถิ่น

แนวทางหนึ่งในการพัฒนาน้ำหอมในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ เป็นการสร้างสรรค์กลิ่นจากแรงบันดาลใจทางวัฒนธรรมและธรรมชาติ มรดกทางวัฒนธรรมและเหตุการณ์ทางประวัติศาสตร์ เพื่อสร้างเอกลักษณ์และความเชื่อมโยงทางอารมณ์ กลิ่นหอมที่สะท้อนถึงภูมิประเทศ วัฒนธรรมพื้นถิ่น หรือพืชพรรณเฉพาะถิ่น ตัวอย่างเช่น อารยธรรมโบราณจากอียิปต์ กรีซ และโรม เป็นแรงบันดาลใจในการสร้างสรรค์แนวกลิ่นที่หรูหราและลึกลับจากกลิ่น มดยอบ (myrrh), กำยาน (frankincense) และไม้กฤษณา (oud) นอกจากนี้ยังทิศทางการพัฒนาน้ำหอมและเทคโนโลยีสร้างสรรค์กลิ่นในระดับอุตสาหกรรมแบบเมดิเตอร์เรเนียน กลิ่นเหล่านี้ถูกนำมาร้อยเรียงเป็นน้ำหอมที่สะท้อนอารมณ์และบรรยากาศของวัฒนธรรมเหล่านั้นได้เป็นอย่างดี[15]

สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำหอมที่ได้แรงบันดาลใจจากวัฒนธรรมและธรรมชาติเฉพาะถิ่น ได้แก่ น้ำหอม Tam Dao by Diptyque ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากป่าไม้ในเวียดนาม มีส่วนผสมของไม้จันทน์และซีดาร์[16] หรือ Memo Paris – Marfa ที่สะท้อนกลิ่นอายของทะเลทรายเท็กซัสผ่านกลิ่นดอกส้มและมัสก์[17] การใช้กลิ่นที่มีความเกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมจึงช่วยส่งผลต่อความรู้สึกเป็นเจ้าของและความภาคภูมิใจในอัตลักษณ์ของผู้ใช้

2.5 การพัฒนาน้ำหอมที่ไม่จำเพาะต่อเพศ

ในอดีต น้ำหอมมักถูกออกแบบให้สอดคล้องกับเพศของผู้ใช้ เช่น กลิ่นดอกไม้สำหรับผู้หญิง และกลิ่นไม้หรือเครื่องเทศสำหรับผู้ชาย อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงทางสังคมที่เน้นความเท่าเทียมและการยอมรับความหลากหลายทางเพศได้เปิดพื้นที่ใหม่ให้กับน้ำหอมแนวกลิ่นไม่จำกัดเพศ ซึ่งเน้นความสมดุลของกลิ่นและการแสดงออกส่วนบุคคลมากกว่าการจำกัดด้วยเพศสภาพ อุตสาหกรรมน้ำหอมจึงมีการปรับตัวตามกระแสสังคมที่ให้ความสำคัญกับความเท่าเทียมทางเพศ โดยการออกแบบและส่งเสริมการขายน้ำหอมแนวเป็นกลางทางเพศ (gender-neutral) เพื่อตอบสนองต่อผู้บริโภคที่ไม่ต้องการถูกจำกัดด้วยภาพลักษณ์ชายหรือหญิงแบบเดิม งานวิจัยจากร้านค้าออนไลน์ในสหราชอาณาจักรและสหรัฐอเมริกาชี้ว่า การใช้ภาษาและภาพลักษณ์ที่เป็นกลางช่วยลดความแตกต่างทางเพศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจนำไปสู่การรวมตลาดที่น้ำหอมบางกลิ่นสามารถตอบโจทย์ทั้งชายและหญิงได้ การออกแบบกลิ่นที่ไม่จำกัดอยู่ในกรอบของเพศ นอกจากจะช่วยขยายกลุ่มเป้าหมายให้ครอบคลุมผู้บริโภคหลากหลายอัตลักษณ์ ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เนื่องจากไม่ต้องแยกสูตรหรือบรรจุภัณฑ์สำหรับหญิงและชาย และยังส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบกลิ่นที่เน้นคุณภาพและอารมณ์มากกว่าภาพลักษณ์ทางเพศแบบเดิม สอดคล้องกับแนวคิดความหลากหลายและความเท่าเทียมในสังคมยุคใหม่ ทำให้แบรนด์ที่สร้างสรรค์น้ำหอมด้วยแนวกลิ่นดังกล่าว สามารถสร้างภาพลักษณ์ที่ทันสมัยและมีความรับผิดชอบต่อสังคมได้เป็นอย่างดี[18]

ตัวอย่างแนวกลิ่นที่มีการใช้ในการผลิตน้ำหอมที่ไม่จำเพาะต่อเพศ มีดังนี้

- กลิ่น Citrus และ Ozonic เช่น Bergamot, Rhubarb, Lime, Mandarin และ Ocean ให้ความรู้สึกสดชื่นและช่วยเสริมอารมณ์ให้แจ่มใส
- กลิ่น Aromatic เช่น Sage-Lavender ให้ความรู้สึกสะอาด สดชื่น และสงบ
- กลิ่น Woody เช่น Sandalwood, Cedar, Cashmere Wood และ Vetiver เพิ่มความลึกซึ้งและความเย้ายวนที่มีชีวิตชีวา
- กลิ่น Florals เช่น Rose, Jasmine และ Muguet สื่อถึงความสง่างาม
- กลิ่น Spices เช่น Cardamom, Ginger, Cinnamon, Amber, Havana และ Tobacco ให้ความรู้สึกน่าค้นหาและกล้าหาญ
- กลิ่น Leather และ Fir Balsam สื่อถึงความโดดเด่นและความกล้าหาญ

แนวกลิ่นเหล่านี้ พบได้ในน้ำหอมแบรนด์ต่างๆ เช่น CK One (Calvin Klein) มีแนวกลิ่นซิตรัสและมัสก์ที่ให้ความรู้สึกสดชื่นและสะอาด Santal 33 (Le Labo) มีแนวกลิ่นไม้จันทน์และกลิ่นหนังที่ให้ความรู้สึกอบอุ่นและลึกลับ และ Philosykos (Diptyque) มีแนวกลิ่นมะเดื่อและใบไม้ที่ให้ความรู้สึกธรรมชาติและสงบ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคที่มองหาความเป็นกลางทางเพศและความเป็นตัวเองในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์[19]

2.6 การใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ในการพัฒนาน้ำหอม

เทคโนโลยีสมัยใหม่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำหอมในยุคปัจจุบัน ทั้งในด้านคุณภาพ ความหลากหลายของกลิ่น และความคงทนของกลิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการสกัดสารหอม การควบคุมการปลดปล่อยกลิ่น และการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ตัวอย่างเช่น การใช้เทคโนโลยี Supercritical CO_2 Extraction ซึ่งสามารถสกัดกลิ่นจากพืชโดยไม่ต้องใช้ตัวทำละลายเคมี ส่งผลให้ได้สารหอมที่มีความบริสุทธิ์สูงและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น Novae Vanilla ซึ่งเป็นน้ำหอมจากแบรนด์ Atelier Des Ors ที่มีชื่อเสียงด้านงานศิลป์และวัตถุดิบคุณภาพสูง เปิดตัวในปี 2025 ได้รับการยอมรับในกลุ่มผู้ชื่นชอบน้ำหอมระดับพรีเมียมว่าเป็นหนึ่งในกลิ่นวานิลลาที่โดดเด่นและหรูหรา มีการใช้วานิลลาหายาก 3 ชนิด ได้แก่ NaturePrint® Blue Vanilla, Madagascar Vanilla รวมถึง Bourbon Vanilla ซึ่งสกัดด้วย เทคโนโลยี Supercritical CO_2 Extraction ผสมกับ Mimosa Absolute, Amber Woods และ Musk เพื่อสร้างกลิ่นวานิลลาที่ซับซ้อนและไม่หวานจัด[20]

ด้านการวิเคราะห์องค์ประกอบของกลิ่น ได้มีการใช้เทคโนโลยี Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกลิ่นอย่างแม่นยำ ช่วยให้ผู้ปรุงน้ำหอมสามารถออกแบบกลิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย การนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในการผสมสูตรน้ำหอม เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ลดความผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ตลอดจนการใช้เทคโนโลยีเพื่อควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นตามการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิหรือความชื้น เพื่อให้กลิ่นถูกปลดปล่อยในเวลาที่เหมาะสม ส่งผลให้ผู้ใช้ได้รับประสบการณ์ที่ดีขึ้นและกลิ่นติดทนนานมากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการใช้เทคโนโลยีทางด้านบรรจุภัณฑ์ในการรักษาคุณภาพของกลิ่น เช่น การใช้วัสดุที่สามารถป้องกันการระเหยของกลิ่น หรือการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยควบคุมการสัมผัสกับอากาศและแสง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำหอม[1]

2.7 การใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการพัฒนาน้ำหอม

เทคโนโลยีชีวภาพได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาน้ำหอม มีการใช้จุลินทรีย์ในการผลิตสารหอมเลียนแบบกลิ่นหายาก หรือกลิ่นที่มีแหล่งที่มาจากการคุกคามธรรมชาติ เช่น การผลิตกลิ่น vanillin จากการหมักจุลินทรีย์แทนการสกัดฝักวานิลลา ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรและเพิ่มความยั่งยืน ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตได้ การใช้จุลินทรีย์ในการผลิตน้ำหอมครอบคลุมตั้งแต่การใช้จุลินทรีย์ที่ถูกปรับแต่งพันธุกรรมในการสังเคราะห์กลิ่นหอม เช่น เทอร์พีนส์ โมโนเทอร์พีนส์ และไดเทอร์พีนส์ และการใช้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์ทั้งเซลล์ในการเปลี่ยนสารตั้งต้นธรรมชาติให้กลายเป็นสารหอม กลิ่นใหม่[21]

2.8 การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ในการสร้างสรรค์น้ำหอม

มีการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อช่วยในการออกแบบสูตรน้ำหอมที่สามารถสร้างกลิ่นใหม่ ๆ และสร้างสูตรน้ำหอมให้เหมาะกับผู้ใช้ที่มีความต้องการเฉพาะ โดยปรับให้ตรงกับความชอบและเคมีของร่างกายผู้ใช้ ตลอดจนการพัฒนาน้ำหอมสำหรับผิวแพ้ง่าย รวมถึงอุปกรณ์ที่สามารถนำส่งกลิ่นเฉพาะบุคคลหรือให้ประสบการณ์การใช้น้ำหอมแบบเสมือนจริง นอกจากนี้ AI ยังได้รับการนำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภค เช่น ความชอบต่อแต่ละกลิ่น ไลฟ์สไตล์ และสภาพอากาศ ตัวอย่างเช่น บริษัท Givaudan ได้พัฒนาแพลตฟอร์ม Carto ที่ใช้ AI ในการออกแบบน้ำหอมแบบ interactive ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างกลิ่นที่ตรงกับตัวตนของตนเองได้[22]

ในส่วนต่อไป บทความนี้จะได้ขยายความรู้บางส่วนเกี่ยวกับเทคโนโลยีสำคัญที่ใช้ในการพัฒนาน้ำหอม ได้แก่ เทคโนโลยีการผลิตสารหอมด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบไหลต่อเนื่อง เทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตน้ำหอม เทคโนโลยีการนำส่งน้ำหอม และเทคโนโลยีการจำลองกลิ่นแบบดิจิทัล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3. เทคโนโลยีการผลิตสารหอมด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบไหลต่อเนื่อง

เทคโนโลยีแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Technology) คือกระบวนการผลิตที่สารตั้งต้นถูกส่งผ่านเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง และปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะเดียวกันจนได้ผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกมา อย่างต่อเนื่อง ต่างจากการผลิตแบบ batch ซึ่งต้องทำเป็นรอบๆ เทคโนโลยีนี้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และอัตราการไหลของสาร ได้อย่างแม่นยำ ทำให้เกิดการสังเคราะห์สารที่มีประสิทธิภาพสูง ลดของเสีย และเพิ่มความปลอดภัยในการผลิต อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในระยะยาว จึงเป็นแนวทางการผลิตที่ยั่งยืนและได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมสมัยใหม่รวมถึงอุตสาหกรรมน้ำหอม

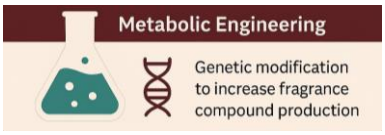
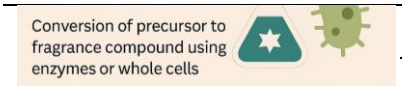
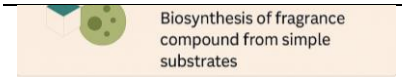
ในกระบวนการผลิตน้ำหอม เทคโนโลยีแบบไหลต่อเนื่องถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์กลิ่นที่มีโครงสร้างซับซ้อนและหายากจากธรรมชาติ เรียกว่า “Continuous Flow Synthesis” โดยเฉพาะกลิ่นที่ต้องการความแม่นยำสูงในระดับโมเลกุล เช่น กลิ่นผลไม้ (กลิ่นพีช กลิ่นส้ม) กลิ่นดอกไม้ (กลิ่นกุหลาบ กลิ่นมะลิ) และกลิ่นไม้ (กลิ่นไม้จันทน์ กลิ่นซีดาร์) ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถผสมผสานกับกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบโฟโตเคมีหรือการใช้เอนไซม์จากเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อสังเคราะห์กลิ่นได้อย่างหลากหลายภายใต้เงื่อนไขที่ปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้กระบวนการผลิตกลิ่นสามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม แม้ว่านวัตกรรมนี้จะเปิดโอกาสใหม่ในการผลิตกลิ่นหอม แต่ก็ยังมีความท้าทายในด้านการจำลองความซับซ้อนของกลิ่นธรรมชาติที่เกิดจากองค์ประกอบของสารจำนวนมาก และการขยายกระบวนการผลิตให้สามารถรองรับการใช้งานในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเมื่อผสานกับทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งยังต้องอาศัยการวิจัยเพิ่มเติม ดังนั้น การพัฒนาเทคโนโลยีแบบไหลต่อเนื่องในอุตสาหกรรมน้ำหอมจึงยังคงเป็นพื้นที่ที่ต้องการการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถผลิตกลิ่นที่หลากหลาย ปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ได้อย่างยั่งยืน[23]

4. เทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตสารหอม

เทคโนโลยีชีวภาพเป็นแนวทางสำคัญในการผลิตสารหอมที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูง แทนการสกัดจากพืชหรือการสังเคราะห์ทางเคมีแบบดั้งเดิม โดยมีหลายวิธีที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เช่น การดัดแปลงพันธุกรรมจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มการผลิตสารหอม (Metabolic Engineering) การใช้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์ทั้งเซลล์ในการแปลงสารตั้งต้น (Biotransformation) การสังเคราะห์สารหอมจากสารตั้งต้นพื้นฐาน (De Novo Synthesis) และการดัดแปลงพันธุกรรมพืช (Plant Genetic Engineering) การเปรียบเทียบแต่ละวิธีแสดงดังตารางที่ 1[21]

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบแนวทางการผลิตสารหอมด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ[21,24]

แนวทางการผลิตและหลักการ	ตัวอย่างสารหอมที่ผลิตได้	จุลินทรีย์, พืช หรือสารตั้งต้นที่ใช้	หมายเหตุ
 การดัดแปลงพันธุกรรมของจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มการผลิตสารหอมผ่านวิถีเมตาบอลิซึม	Santalene	Escherichia coli	**ข้อดี** ผลผลิตสูง สามารถ ควบคุมได้ และใช้สารตั้งต้นราคาถูก **ข้อจำกัด** อาจเกิดพิษต่อเซลล์จุลินทรีย์ที่ใช้ จากสาเหตุต่างๆ เช่น การสะสมของสารหอม หรือ intermediate ที่เป็นพิษและต้องจัดการปริมาณการไหลของสารตั้งต้นและเทคนิคการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากระบบระหว่างการหมัก
	Limonene	E. coli Saccharomyces cerevisiae	
	Patchoulol	E. coli S. cerevisiae	
	Sclareol	E. coli	
 การใช้เอนไซม์หรือจุลินทรีย์ทั้งเซลล์เปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นสารหอม	Nootkatone	Pichia pastoris	**ข้อดี** สภาวะการผลิตไม่รุนแรง ได้สารบริสุทธิ์สูง และเป็นธรรมชาติ **ข้อจำกัด** ต้องมีสารตั้งต้นเฉพาะและผลผลิตอาจต่ำกว่าการสังเคราะห์โดยตรง
	Ambradiol	Hyphozyma roseoniger	
 การสร้างสารหอมจากสารตั้งต้นพื้นฐาน เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโน	*Vanillin*	E. coli S. cerevisiae	**ข้อดี** ใช้สารตั้งต้นราคาถูก มีความยั่งยืน และไม่ต้องพึ่งพาพืชหรือสัตว์ **ข้อจำกัด** ต้องควบคุมหลายขั้นตอน และอาจต้องใช้การปรับแต่งยีนที่ซับซ้อน
	Diacetyl	*Lactobacillus casei*	
	Limonene	E. coli	
 การดัดแปลงพันธุกรรมพืชเพื่อเพิ่มการผลิตสารหอมโดยตรงจากพืช	Limonene	Eucalyptus camaldulensis	**ข้อดี** ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และมีโครงสร้างสะสมสารหอมโดยธรรมชาติ **ข้อจำกัด** ผลผลิตต่ำ ใช้เวลานานในการพัฒนา และผลผลิตจะขึ้นกับโครงสร้างพืชและสภาพแวดล้อม
	Patchoulol and α-, β-Santalene	Physcomitrella patens	

แนวทางที่ได้รับความสนใจเป็นพิเศษคือการใช้จุลชีพ (microbial-based approaches) ในการผลิต ซึ่งสามารถทดแทนวิธีการดั้งเดิมที่ใช้พืชเป็นวัตถุดิบซึ่งมักประสบปัญหาด้านต้นทุน แหล่งทรัพยากรที่จำกัด และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น ในการผลิตอนุพันธ์ของเทอร์พีนอยด์ (terpenoid derivatives) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีการใช้มากในตำรับน้ำหอม ได้มีการดัดแปลงพันธุกรรมของ *Escherichia coli* เพื่อควบคุมการแสดงออกของยีนสังเคราะห์เทอร์พีน (terpene synthase) ร่วมกับการดัดแปลงวิถีเมตาบอลิซึมของกรดเมวาโลเนต (mevalonate pathway) เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสารหอมที่มีมูลค่าสูง สามารถลดการพึ่งพาวัตถุดิบจากธรรมชาติซึ่งมีจำกัดตามฤดูกาล

การสังเคราะห์สารหอมโดยใช้จุลชีพมีข้อได้เปรียบหลายด้าน เช่น ช่วยลดต้นทุน พลังงาน และเวลาในการผลิต อีกทั้งกระบวนการผลิตสามารถเกิดขึ้นในสภาวะอุณหภูมิและความดันปานกลาง และใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จึงมีความปลอดภัยและยั่งยืนกว่าการสกัดจากพืชหรือการสังเคราะห์ทางเคมี นอกจากนี้ยังสามารถปรับแต่งคุณสมบัติของสารหอมให้ตรงกับความต้องการของตลาดได้ ตัวอย่างผลผลิตสารหอมที่ใช้เทคโนโลยีชีวภาพซึ่งให้ผลผลิตมากกว่าการสกัดจากพืช เช่น Limonenes สกัดจากยูคาลิปตัส (Eucalyptus camaldulensis) ได้เท่ากับ 0.33 mg/g ในขณะที่ผลิตใน E. coli ได้เท่ากับ 726 mg/g อีกตัวอย่างหนึ่งคือ Patchoulol สามารถผลิตจาก Marchantia paleacea ซึ่งเป็นพืชในกลุ่มลิเวอร์เวิร์ต (liverwort) ได้เท่ากับ 3.25 mg/g ในขณะที่การผลิตในยีสต์ Saccharomyces cerevisiae ได้เท่ากับ 313 mg/g(21)

มีตัวอย่างสารหอมอีกหลายชนิดที่ผลิตโดยการหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ซึ่งมักเป็น *S. cerevisiae* หรือ *E. coli* ที่ได้รับการปรับแต่งพันธุกรรม โดยใช้ต้นแบบจากสารธรรมชาติ[(1)] ดังนี้

Patchouli-scented Clearwood เป็นสารหอมที่ผลิตจากกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ มีกลิ่นคล้าย patchouli (พิมเสน) แต่กลิ่นนุ่มนวลกว่าน้ำมันพิมเสนแบบดั้งเดิม ใช้ในน้ำหอมเพื่อสร้างกลิ่นแนวอบอุ่น หรูหรา และเป็นธรรมชาติ

Biosynthetic Santalol (Dreamwood) เป็นสารหอมที่ผลิตจากการหมักด้วยจุลินทรีย์เพื่อเลียนแบบกลิ่น santalol ซึ่งเป็นสารสำคัญในน้ำมันไม้จันทน์ (sandalwood oil) มีกลิ่นที่ให้ความรู้สึกอบอุ่น หวาน และนุ่มลึก ใช้ในน้ำหอมเพื่อสร้างโทนกลิ่นแนวอบอุ่นและหรูหรา

Woody-Ambery with Ambrox Super กลิ่น Ambrox Super เป็นสารหอมที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีหรือกึ่งสังเคราะห์จากสารตั้งต้นที่ได้จากการหมัก เช่น sclareol จากต้น Clary Sage เพื่อเลียนแบบกลิ่นของ ambergris ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่หายากและมีราคาแพง มีกลิ่นหอมหวาน ละมุนลึก และมีโทนกลิ่นไม้ (woody) และแอมเบอร์ (ambery) ใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำหอมที่ต้องการสร้างความรู้สึกอบอุ่น หรูหรา และติดทนนาน

Nootkatone พบได้ในเปลือกเกรปฟรุต และไม้หอมชนิดต่างๆ ให้กลิ่นหอมคล้ายเกรปฟรุต พร้อมโทนกลิ่นหวานและกลิ่นไม้อ่อน ๆ เตรียมได้โดยกระบวนการ biochemical oxidation โดยจุลินทรีย์หรือเอนไซม์ที่ได้รับการปรับแต่งทางพันธุกรรม เพื่อเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น valencene ซึ่งเป็นสารประกอบเทอร์พีนที่พบได้ในน้ำมันหอมระเหยของพืชตระกูลส้ม เช่น เกรปฟรุต

นอกจากนี้ยังมียีสต์อีกหลายชนิดที่ผ่านการดัดแปลงพันธุกรรมและนำมาใช้ในการผลิตสารหอมและน้ำหอมที่มีมูลค่าในอุตสาหกรรมนี้ เช่น *Kluyveromyces marxianus* ที่ใช้ในการผลิต 2-phenylethanol ethyl acetate[25] และ *Metschnikowia pulcherrima* ที่ใช้ในในการผลิต 2-phenylethanol (2PE)[26]

ในด้านการประยุกต์ใช้วิศวกรรมเมตาบอลิซึม (metabolic engineering) ในพืช จะเป็นการถ่ายยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารที่ต้องการ เช่น สารกลุ่มเทอร์พีนเข้าสู่พลาสติด (plastid) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างสารหอม และการกระตุ้นการพัฒนาเซลล์ต่อมพิเศษ (glandular trichomes) ที่เป็นแหล่งผลิตและสะสมสารระเหย เป็นการปรับปรุงพันธุ์พืชแบบดั้งเดิมเพื่อเพิ่มการผลิตสารหอม ช่วยแก้ปัญหาความซับซ้อนของกระบวนการทางพันธุกรรมและการควบคุมเมตาบอลิซึมของพืช อย่างไรก็ตาม การพัฒนากลิ่นด้วยวิธีดังกล่าวยังทำได้ค่อนข้างยาก ผลผลิตที่ได้ยังต้องได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการผลิตสารหอมในจุลชีพ แต่ถือเป็นทิศทางการวิจัยที่มีศักยภาพสูงในการสร้างนวัตกรรมกลิ่นหอมจากพืชในอนาคต[21]

แม้เทคโนโลยีชีวภาพจะเปิดโอกาสใหม่ในการผลิตวัตถุดิบน้ำหอมจากธรรมชาติอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะการใช้โรงงานเซลล์จุลชีพ (microbial cell factories) ที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ แต่ยังคงมีความท้าทายที่ต้องพัฒนา เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การควบคุมการปนเปื้อน และการปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและกฎหมาย โดยเฉพาะเมื่อขยายสู่ระดับอุตสาหกรรม ทั้งนี้ การคัดเลือกสายพันธุ์จุลชีพที่เหมาะสมยังเป็นหัวใจสำคัญของการผลิตเชิงพาณิชย์ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาเครื่องมือพันธุวิศวกรรมเพิ่มเติม การวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในด้านนี้จึงมีบทบาทสำคัญในการผลักดันอุตสาหกรรมน้ำหอมเข้าสู่ยุคใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีคุณภาพสูง[21]

5. เทคโนโลยีการนำส่งน้ำหอม

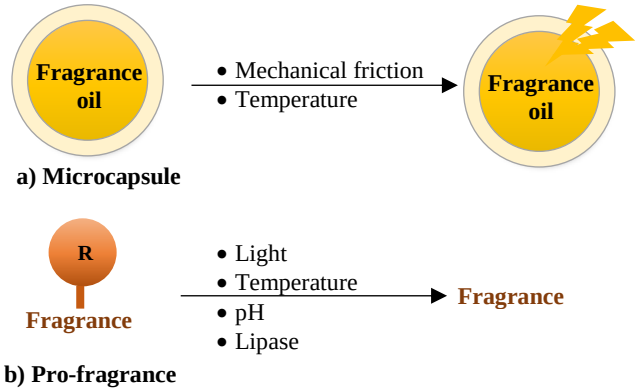
น้ำหอมโดยทั่วไปมีข้อจำกัดด้านความคงทนของกลิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหอมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทใช้แล้วล้างออก (wash off) เช่น ผลิตภัณฑ์ซักผ้า และผลิตภัณฑ์ซักแห้ง ทำให้ช่วงปลายปี ค.ศ. 1970 ถึงต้นปี ค.ศ. 1980 มีการคิดค้นและจดสิทธิบัตรระบบการนำส่งน้ำหอมครั้งแรก โดยใช้ wax, gelatin, gum acacia และ urea-formaldehyde resins เพื่อกักเก็บน้ำมันหอม ต่อมาในช่วงปี ค.ศ. 2000 มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ผลิตภัณฑ์เพิ่มกลิ่น (scent boosters) และแคปซูลซักผ้า (laundry pods) เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการใช้งาน โดยใช้เทคนิคการกักเก็บกลิ่นในตัวพาเฉพาะเพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่นจากการทำปฏิกิริยากับส่วนผสมอื่น และเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม[1]

ในปี ค.ศ. 2020 มีการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น melamine-formaldehyde หรือ poly(methyl methacrylate) เป็นวัสดุห่อหุ้มน้ำหอมในรูปแบบ **“ไมโครแคปซูล (microcapsule)”** ซึ่งเป็นโครงสร้างขนาดไมโครเมตร (μm) ที่มีผนังพอลิเมอร์ทำหน้าที่ปกป้องและควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นเมื่อได้รับการกระตุ้น เช่น การถู ความชื้น หรืออุณหภูมิ โดยทั่วไปไมโครแคปซูลจะมีขนาด 10–50 μm และผนังบางกว่า 1 μm ช่วยให้กลิ่นคงทนและปลดปล่อยกลิ่นอย่างต่อเนื่องระหว่างการใช้งาน ตัวอย่างการใช้ในน้ำยาปรับผ้านุ่มมักเป็นการผสมผสานระหว่างน้ำมันหอมที่กระจายอยู่ในผลิตภัณฑ์เพื่อให้เกิดกลิ่นหอมทันทีเมื่อเปิดขวดร่วมกับไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมเพื่อค่อยๆ ปลดปล่อยกลิ่นบนผ้าระหว่างการใช้งานหรือหลังจากซักเสร็จ อย่างไรก็ตาม ไมโครแคปซูลจากพอลิเมอร์สังเคราะห์มักทำจากไมโครพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหลังการใช้งาน ทำให้สหภาพยุโรปออกมาตรการห้ามใช้ไมโครพลาสติก และผลักดันการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้พอลิเมอร์ชีวภาพที่ย่อยสลายได้แทนวัสดุเดิม[1,27]

“เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)” นับเป็นหัวใจสำคัญของเทคโนโลยีนี้ เป็นกระบวนการห่อหุ้มสารหอมภายในวัสดุผนัง (wall material) เพื่อป้องกันการระเหยและควบคุมการปลดปล่อย ซึ่งสามารถทำได้หลายระดับ ตั้งแต่นาโนแคปซูล (<1 μm) ไปจนถึงไมโครแคปซูล (1–1000 μm) รวมถึงการใช้ไซโคลเด็กซ์ทริน (cyclodextrins) ในรูปแบบ inclusion complexes นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น Liposomes, Polymeric Micelles และ Polymersomes ซึ่งเป็นโครงสร้างขนาดนาโนที่เกิดจากการจัดเรียงตัวเองของบล็อกพอลิเมอร์ สามารถกักเก็บสารหอมทั้งในแกนไฮโดรโฟบิกและส่วนห่อหุ้ม พร้อมปลดปล่อยตามสิ่งกระตุ้น เช่น pH อุณหภูมิ หรือแสง วิธีการผลิตมีทั้งเชิงกายภาพ (spray drying, freeze-drying, electrospraying) และเชิงเคมี (coacervation, interfacial polymerization) โดยแนวโน้มสำคัญคือการพัฒนา stimuli-responsive capsules และการใช้วัสดุ biodegradable เพื่อลดปัญหามลพิษไมโครพลาสติกดังที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการเตรียมอิมัลชันเชิงซ้อน เช่น oil-in-water-in-oil (O/W/O) หรือ water-in-oil-in-water (W/O/W) เพื่อกักเก็บสารหอมและอาจประยุกต์ใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยสารหอมได้เช่นกัน[27]

อีกเทคโนโลยีที่สำคัญคือ **“โปรเฟรแกรนซ์ (Pro-fragrances)”** ซึ่งเป็นการออกแบบสารตั้งต้นของกลิ่นให้ไม่มีกลิ่นหรือมีกลิ่นอ่อน และปลดปล่อยกลิ่นหอมเมื่อได้รับสิ่งกระตุ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงค่า pH อุณหภูมิ แสง หรือแรงเสียดทาน โดยอาศัยกลไกการแตกพันธะทางเคมีหรือเอนไซม์ เทคโนโลยีนี้ถูกนำไปใช้เชิงพาณิชย์ตั้งแต่กลางทศวรรษ 1990 ตัวอย่างเช่น การใช้ digeranyl succinate ในน้ำยาปรับผ้านุ่ม ซึ่งเมื่อสัมผัสกับเอนไซม์ไลเปสจากผงซักฟอกจะปลดปล่อย geraniol ออกมาอย่างต่อเนื่อง[28] โปรเฟรแกรนซ์มีข้อดีคือกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน และสามารถใช้แทนไมโครแคปซูลได้ในกรณีที่ไมโครแคปซูลไม่เข้ากับสูตรผลิตภัณฑ์ แม้เทคโนโลยีเหล่านี้จะเปิดโอกาสใหม่ในการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ผู้บริโภคยุคใหม่ แต่ยังมีความท้าทายในการจำลองกลิ่นธรรมชาติให้เหมือนจริง และการพัฒนากระบวนการผลิตที่ยั่งยืนในระยะยาวต่อเนื่อง[27,28]

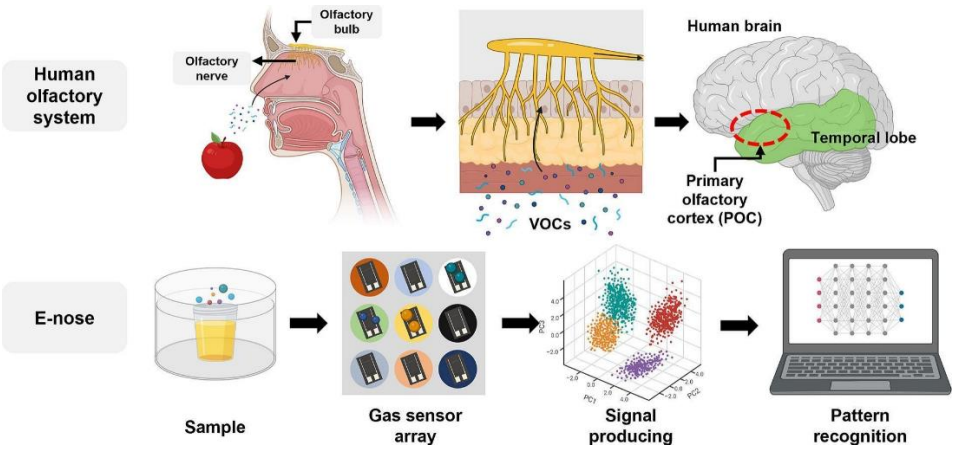
กลไกการกระตุ้นการปลดปล่อยน้ำหอมผ่าน microcapsule และ pro-fragrances แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กลไกการกระตุ้นการปลดปล่อยน้ำหอมผ่าน a) microcapsule และ b) pro-fragrances เมื่อ ตัวอย่างสาร R คือ carboxylate, glucosidecarconate, imines, unsaturated alcohols [1]

6. เทคโนโลยีการจำลองกลิ่นแบบดิจิทัล

เทคโนโลยีการจำลองกลิ่นแบบดิจิทัล เป็นนวัตกรรมที่ผสานวิทยาศาสตร์ด้านกลิ่นเข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อสร้างและถ่ายทอดกลิ่นอย่างสมจริงในสื่อดิจิทัล เช่น เว็บไซต์ วิดีโอ หรือระบบเสมือนจริง (Virtual Reality) ระบบนี้ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ก๊าซ (gas sensors) ตัวสังเคราะห์กลิ่น (scent synthesizers) และ จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (e-noses) ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับ วิเคราะห์ และปล่อยกลิ่นตามคำสั่ง (รูปที่ 2) ปัจจุบันตลาดเทคโนโลยีกลิ่นดิจิทัลทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง และคาดว่าจะสูงถึงราว 2,172.7 ล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2030[29]



รูปที่ 2 การรับกลิ่นของมนุษย์ที่ตรวจจับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ผ่านเส้นประสาทรับกลิ่นไปยังสมอง เทียบกับกระบวนการของ E-nose ที่ตรวจจับตัวอย่างกลิ่นด้วย gas sensor เพื่อนำไปสร้างสัญญาณ และใช้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) เพื่อวิเคราะห์กลิ่น[32]

เทคโนโลยีนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในหลายอุตสาหกรรมรวมถึงในอุตสาหกรรมน้ำหอม ซึ่ง AI เข้ามาช่วยวิเคราะห์และจำแนกองค์ประกอบของกลิ่นได้อย่างแม่นยำ ทำให้การออกแบบกลิ่นใหม่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การพัฒนา "หน้าจอที่มีกลิ่น" และ "อุปกรณ์เสริมสำหรับสมาร์ตโฟน" ที่ใช้ digital scent cartridge ซึ่งเป็นตลับหรือแคปซูลบรรจุสารหอมที่มีไมโครชิปควบคุมการกระจายกลิ่น สามารถผสมและปล่อยกลิ่นตามคำสั่งซอฟต์แวร์ รวมถึงเลือกความเข้มข้นได้ผ่านหน้าจอสัมผัส เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถ "ทดลองกลิ่น" น้ำหอมได้โดยไม่ต้องสัมผัสผลิตภัณฑ์จริง[30,31]

การผนวกเทคโนโลยีกลิ่นดิจิทัลเข้ากับปัญญาประดิษฐ์ (AI) ได้เปลี่ยนกระบวนการสร้างสรรค์กลิ่นจากงานศิลปะของนักปรุงน้ำหอมไปสู่การออกแบบเชิงข้อมูล (data-driven design) อย่างสมบูรณ์แบบ โดย AI สามารถวิเคราะห์ชุดข้อมูลกลิ่นขนาดใหญ่นับล้านสูตร เพื่อคาดการณ์แนวโน้มความนิยมของตลาด และสังเคราะห์สูตรกลิ่นใหม่ที่ตอบโจทย์ผู้บริโภคได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ เทคโนโลยียังเอื้อต่อการพัฒนาระบบน้ำหอมเฉพาะบุคคล (personalized perfume) ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมและความชอบเฉพาะบุคคลเพื่อสร้างสรรค์กลิ่นที่สะท้อนบุคลิกของผู้ใช้ อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการวิจัยและพัฒนา รวมถึงการลดการทดสอบในมนุษย์ โดยอาศัยระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (e-nose) ที่ทำงานร่วมกับ AI แม้ว่าปัจจุบันยังคงมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการเลียนแบบกลิ่นธรรมชาติที่ซับซ้อน และการจัดการกับกลิ่นตกค้าง (residual scent) แต่ด้วยการพัฒนาชุดคำสั่ง (อัลกอริทึม) และอุปกรณ์ที่ก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีนี้จึงเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมน้ำหอมเข้าสู่ยุคดิจิทัลอย่างแท้จริง

ความก้าวหน้าของ AI ในอุตสาหกรรมน้ำหอมเริ่มต้นขึ้นอย่างจริงจังในช่วงปลายทศวรรษ 2010 โดยการเปิดตัว “Philyra” ซึ่งเป็นระบบ AI ที่พัฒนาโดย IBM ร่วมกับบริษัทน้ำหอม Symrise ในเยอรมนี โดยใช้ฐานข้อมูลขนาดใหญ่กว่า 3.5 ล้านสูตรเคมีและข้อมูลเชิงพฤติกรรมผู้บริโภคเพื่อสร้างกลิ่นใหม่ ๆ ที่มีโอกาสประสบความสำเร็จในตลาดสูง ในปี 2019 Philyra ได้สร้างน้ำหอมสองกลิ่นแรกให้กับแบรนด์ O Boticario ของบราซิล และมีการทดลองสร้างน้ำหอมร่วมกับลูกค้าเป็นครั้งแรกในห้างสรรพสินค้าในเบอร์ลิน ต่อมาในปี 2022 Symrise ได้เปิดตัว Philyra 2.0 ซึ่งเน้นการพัฒนาสูตรน้ำหอมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่ลดคุณภาพของกลิ่น และนักปรุงน้ำหอม (perfumer) ในบริษัทได้ใช้ Philyra 2.0 มาเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสร้างสรรค์น้ำหอม ซึ่งสะท้อนการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างในอุตสาหกรรม[33]

และในขณะเดียวกันบริษัทชั้นนำอย่าง Givaudan ได้เปิดตัวระบบ AI "Carto" ซึ่งเป็นระบบ AI ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องมือช่วยให้นักปรุงน้ำหอมสามารถออกแบบกลิ่นผ่านอินเทอร์เฟซแบบสัมผัส พร้อมหุ่นยนต์ผสมกลิ่นอัตโนมัติเพื่อเร่งกระบวนการทดลองสูตร[22] และในปี 2023 Osmo ได้พัฒนาเทคโนโลยี "Olfactory Intelligence" โดยใช้โมเดลกราฟและเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างแผนที่กลิ่นดิจิทัล Primary Odor Map (POM) ซึ่งสามารถทำนายกลิ่นของโมเลกุลใหม่ได้อย่างแม่นยำ[34] การพัฒนาเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า AI กำลังเร่งทั้งการออกแบบสูตรอย่างมีประสิทธิภาพและการสร้างนวัตกรรมระดับโมเลกุล ซึ่งเป็นการขยายขอบเขตของศาสตร์น้ำหอมในอนาคตอย่างแท้จริง

ปัจจุบัน บทบาทของ AI ในอุตสาหกรรมน้ำหอมไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่แบรนด์ระดับมวลชน (mass-market) เท่านั้น แต่ยังขยายไปสู่การสร้างแรงบันดาลใจ การปรับแต่งสูตรเบื้องต้น หรือแม้กระทั่งการสร้างกลิ่นเลียนแบบ (dupes) ที่ใกล้เคียงกับแบรนด์หรูในราคาย่อมเยา โดยรวมแล้ว AI ได้เปลี่ยนแปลงโลกของอุตสาหกรรมน้ำหอมอย่างมาก ทั้งในด้านการสร้างสรรค์ การผลิต และโครงสร้างอาชีพ และยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มบทบาทขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การเข้ามาของ AI ย่อมส่งผลกระทบต่ออาชีพนักปรุงน้ำหอม (perfumer) โดยเฉพาะผู้ที่เพิ่งเริ่มต้นหรือปรับตัวเข้ากับเทคโนโลยีไม่ทัน เนื่องจาก AI เข้ามาแทนที่บทบาทที่เคยเป็นของมนุษย์ ซึ่งแม้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอย่างมาก แต่ก็ลดโอกาสการเรียนรู้เชิงปฏิบัติสำหรับนักปรุงน้ำหอมรุ่นใหม่[33]

สรุป

ปัจจุบัน อุตสาหกรรมน้ำหอมได้ก้าวข้ามจากการเป็นเพียงการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ให้กลิ่นหอม ไปสู่การเป็นส่วนผสมเชิงกลยุทธ์ระหว่างศาสตร์และศิลป์ที่มุ่งสร้างเอกลักษณ์และประสบการณ์เฉพาะบุคคลให้แก่ผู้บริโภค โดยอาศัยแนวคิดในการพัฒนาและออกแบบน้ำหอมที่หลากหลาย และใช้เทคโนโลยีเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนา เช่น การสังเคราะห์หรือผลิตสารหอมด้วยกระบวนการที่ยั่งยืน เช่น การสังเคราะห์แบบไหลต่อเนื่อง การใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตสารหอมจากจุลชีพ การพัฒนาระบบนำส่งน้ำหอมขั้นสูงเพื่อเพิ่มความคงทนและควบคุมการปลดปล่อยกลิ่น เทคโนโลยีเหล่านี้ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำหอมสามารถตอบโจทย์ความต้องการของตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในมิติของความคงทน ความปลอดภัย และความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม การขับเคลื่อนอุตสาหกรรมนี้อาศัยการผนึกกำลังทางวิทยาศาสตร์ โดยนักวิทยาศาสตร์เครื่องสำอางซึ่งรับผิดชอบการออกแบบสูตรเพื่อให้น้ำหอมมีคุณภาพดี มีการกระจายกลิ่นที่ดี และคงทน ขณะที่เภสัชกรสามารถเข้ามาเสริมบทบาทในการควบคุมความปลอดภัยและคุณภาพ การวิจัยอย่างต่อเนื่องและการผสานองค์ความรู้ข้ามศาสตร์จึงเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ได้อย่างครอบคลุม ทั้งในด้านความพึงพอใจ สุขภาพ และความรับผิดชอบต่อสังคม ซึ่งเป็นรากฐานในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมน้ำหอมให้เติบโตอย่างมีคุณภาพและรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Olivier RPD, Franco D. Industrial fragrance chemistry: a brief historical perspective. Eur J Org Chem. 2023;26(44):e202300900.
2. Statista. Fragrances - worldwide [Internet]. Statista; 2024 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.statista.com/outlook/cmo/beauty-personal-care/fragrances/worldwide
3. Grand View Research. Perfume market size, share & trends analysis report by type (mass, premium), by end user (men, women, unisex), by distribution channel, by region, and segment forecasts, 2023 - 2030 [Internet]. Grand View Research; 2023 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/perfume-market
4. Kumar M, Devi A, Sharma M, Kaur P, Mandal UK. Review on perfume and present status of its associated allergens. J Cosmet Dermatol. 2021;20(2):391-9.
5. González-Minero FJ, Bravo-Díaz L, Moreno-Toral E. Pharmacy and fragrances: Traditional and current use of plants and their extracts. Cosmetics. 2023;10(6):157.
6. Shatzman C. Spring 2025’s Biggest Fragrance Trends Are All About Violets and Nostalgia [Internet]. Byrdie; 2024 [cited 2025 November 19]. Available from: https://www.byrdie.com/spring-fragrance-trends-2025-11691501
7. Vogue. Milk, savory gourmands, and solar notes: 6 trends defining the fragrance space right now [Internet]. Vogue; 2024 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.vogue.com/article/fragrance-trends-2024
8. ELLE. The Unexpected Perfume Notes Set to Dominate Summer 2025 [Internet]. ELLE; 2025 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.elle.com/beauty/a65104421/summer-perfume-trends-2025/
9. Mintel. Make Sense of Scents: Fragrance Trends Now and Beyond [Internet]. Mintel; 2024 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.mintel.com/insights/beauty-and-personal-care/make-sense-of-scents-current-and-future-fragrance-trends/
10. Sharmeen JB, Mahomoodally FM, Zengin G, Maggi F. Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. Molecules. 2021;26:666.

11. Dobreva A, Nedeltcheva-Antonova D, Nenov N, Getchovska K, Antonov L. Subcritical extracts from major species of oil-bearing roses—a comparative chemical profiling. Molecules. 2021;26(16):4991.
12. Cui J, Li M, Wei Y, Li H, He X, Yang Q, et al. Inhalation aromatherapy via brain-targeted nasal delivery: natural volatiles or essential oils on mood disorders. Front Pharmacol. 2022;13:860043.
13. Herz RS. The role of odour-evoked memory in psychological and physiological health. Brain Sci. 2016;6(3):22.
14. Petratou E, Paradisi N, Diamantis O, Stalikas A. Psychological implications of nostalgic scents of childhood. Psychology. 2020;11:2066-80.
15. Chiqio. Inspiration sources for perfume: Unveiling the creative process [Internet]. Chiqio; [cited 2025 Nov 19]. Available from: https://chiqio.com/inspiration-sources-for-perfume-unveiling-the-creative-process/
16. Diptyque. Tam Dao Eau de Parfum [Internet]. Diptyque Paris; [cited 2025 Nov 19]. Available from: https://www.diptyqueparis.com/en_us/l/fragrances/collections/tam-dao.html
17. Memo Paris. Marfa Eau de Parfum [Internet]. Memo Paris; [cited 2025 Nov 19]. Available from: https://www.memoparis.com/products/marfa-eau-de-parfum
18. Nemčoková K, Kráľová Z, Holíková A, Sampey DP. Gender identities in e-shop perfume descriptions. TIL. 2021;22:63–77.
19. Maison21G. Gender-neutral fragrances: The revolution of non-gendered perfumes [Internet]. Maison21G; 2024 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.maison21g.com/articles/gender-neutral-fragrances-the-revolution-of-non-gendered-perfumes
20. Fragrantica. From Lune Feline to Novae Vanilla: Two Visions of the Vanilla Bean by Ateliers des Ors [Internet]. Fragrantica; 2025 [cited 2025 Nov 19]. Available from: https://www.fragrantica.com/news/From-Lune-Feline-to-Novae-Vanilla-Two-Visions-of-the-Vanilla-Bean-by-Ateliers-des-Ors-23820.html
21. Manina AS, Forlani F. Biotechnologies in perfume manufacturing: Metabolic engineering of terpenoid biosynthesis. Int J Mol Sci. 2023;24(9):7874.

22. Givaudan. Givaudan Fragrances launches Carto, its artificial intelligence-powered tool [Press release]. Givaudan; 2019 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.givaudan.com/media/media-releases/2019/givaudan-fragrances-launches-carto-its-artificial-intelligence-powered-tool
23. Kleoff M, Kiler P, Heretsch P. Synthesis of odorants in flow and their applications in perfumery. Beilstein J Org Chem. 2022;18:754-68.
24. Braga A, Guerreiro C, Belo I. Generation of flavors and fragrances through biotransformation and de Novo synthesis. Food Bioprocess Technol. 2018;11:2217–28.
25. Morrissey JP, Etschmann MMW, Schrader J, Billerbeck GMD. Cell factory applications of the yeast *Kluyveromyces marxianus* for the biotechnological production of natural flavour and fragrance molecules. Yeast. 2014;31(11-12):427-38.
26. Chantasuban T, Santomauro F, Gore-Lloyd D, Parsons S, Henk D, Scott RJ, Chuck C. Elevated production of the aromatic fragrance molecule, 2-phenylethanol, using *Metschnikowia pulcherrima* through both de novo and ex novo conversion in batch and continuous modes. J Chem Technol Biotechnol. 2018;93(8):2118-30.
27. Russell S, Bruns N. Encapsulation of fragrances in micro- and nano-capsules, polymeric micelles, and polymersomes. Macromol Rapid Commun. 2023;44(16):2300120.
28. Herrmann A. Profragrance chemistry as an interdisciplinary research area and key technology for fragrance delivery. Chimia (Aarau). 2017;71(7):414-9.
29. P&S Intelligence. Digital Scent Technology Market Size, Share, Growth, Demand Forecast Report – 2030 [Internet]. P&S Intelligence; c2024 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/digital-scent-technology-market-size
30. MakeUseOf. What is digital scent technology and how does it work? [Internet]. MakeUseOf; 2023 Jul 14 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.makeuseof.com/what-is-digital-scent-technology/
31. Digital Dopamine. Digital smell: How technology is bringing scents to screens [Internet]. Digital Dopamine; 2025 May 14 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://digitaldopamine.in/2025/05/14/digital-smell-how-technology-is-bringing-scents-to-screens/

32. Lee T, Yu J, Lee SW, Oh SH, Kang D, Son H, et al. Machine learning-integrated biomimetic electronic noses: Future perspectives. Microchem J. 2025;213:113638.
33. Cosmetiqua. AI in perfume: Artificial Intelligence and the future of fragrances [Internet]. Cosmetiqua; [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://cosmetiqua.com/en/ai-in-perfume-artificial-intelligence-future/
34. Osmo. Osmo Launches Generation, World's First AI-Powered Fragrance House [Internet]. Generation by Osmo; 2025 Mar 5 [cited 2025 Oct 24]. Available from: https://www.generationbyosmo.com/blog/osmo-launches-generation-worlds-first-ai-powered-fragrance-house