

化妆品用特色植物资源的生物发酵研究与应用

蒋敏¹, 史劲松^{1*}, 李峰², 姜秀玉², 彭博², 李恒¹

(1. 江南大学生命科学与健康工程学院, 江苏无锡, 214122;

2. 安利(中国)植物研发中心有限公司, 江苏无锡, 214122)

摘 要: 发酵型特色植物资源新型化妆品原料是指利用微生物发酵工艺, 提升植物中有效成分的含量或产生新的生物活性物质。这一领域不仅具有巨大的发展潜力和市场前景, 但也面临着一系列挑战。本文将从微生物学的角度出发, 概述化妆品领域常见的植物发酵微生物及其发酵技术, 并深入探讨植物发酵提质增效的原理, 旨在为相关领域的研究者提供参考和启示。

关键词: 特色植物资源; 发酵; 化妆品

***通讯作者简介:** 史劲松, 教授, 江南大学江苏省生物医药制造工程技术研究中心主任; 青藏高原微生物国家地方联合工程研究中心副主任; 生物制药国家虚拟仿真实验教学中心负责人。研究方向: 生物发酵及活性评价。E-mail: shijs@163.com。



史劲松

中国在微生物发酵领域的应用历史悠久, 其起源可以追溯至四千多年前。最初, 这项技术主要用于食品工业, 如酿酒、酿醋和制酱等。随着时间的推移, 人们开始将植物材料融入发酵过程, 逐渐发展出一系列传统发酵中药, 其中半夏曲、六神曲、淡豆豉等至今仍被广泛用于临床治疗。20世纪80年代, 现代发酵植物研究开始兴起, 早期研究主要关注真菌的纯种发酵技术, 例如灵芝和冬虫夏草等。近年来, 研究领域进一步扩展至有益细菌, 包括乳酸菌和芽孢杆菌等。得益于微生物代谢网络、高通量筛选等技术的发展, 发酵技术的应用已经超越了中药领域, 开始涉及到化妆品原料的植物材料。2020年起, 中国政府实施的《化妆品监督管理条例》中明确提出了“鼓励和支持运用现代科学技术, 结合中国传统优势项目和特色植物资源研究开发化妆品”的政策导向, 这进一步促进了微生物发酵技术在中国特色植物资源的日化领域开发和应用。研究证实, 利用微生物对这些特色植物资源进行加工, 不仅可以提升植物原料中活性物质的含量和功效, 还能降低潜在的副作用, 此外, 功能微生物本身的代谢产物还能进一步丰富原料的内涵, 显著改善原料功效、香气以及溶解性能等, 这也是植物发酵原料独特优势^[1]。

基于以上, 本文将首先概述化妆品领域中常见的特色植物发酵加工微生物种类和发酵技术, 接着对典型植物原料进行分类, 并提供相应的发酵加工建议; 此外, 还将深入探讨植物发酵提质增效原理, 以及它们在日化产品中的功效和应用潜力。

1. 菌株筛选与发酵工艺

1.1 菌株筛选

微生物在植物型化妆品原料的发酵过程中发挥着关键作用, 不同的微生物代谢产物差异较大, 对植物成分利用方式和转化能力也不同。因此, 在进行植物原料的发酵时, 微生物品种的选择极为重要。通常, 在微生物选择时, 应优先选择安全性高、代谢产物活性高、转化能力强、菌株培养简单、发酵过程容易控制的微生物, 可以选择酿造微生物菌株、微生态菌株、植物共生菌以及化妆品允许使用微生物菌株等类型, 如植物乳杆菌、鼠李糖乳杆菌、双歧杆菌、乳酸链球菌、酿酒酵母、巴斯德醋杆菌、黑曲霉、米曲霉以及多种药食用真菌。以下表格1汇总了一些适用于特色植物化妆品原料发酵的常见微生物。

1.2 发酵工艺

在发酵工艺方面, 根据微生物的生长特性, 可以采用厌氧发酵、通风搅拌发酵、多菌协同发酵、双向发酵等方式, 考虑到原料预处理方式不同, 可以采用提取液发酵、粗料直接发酵、破碎或粉碎后带渣发酵。但对具体植物品种而言, 应结合物料特性、所含活性物质的理化特征、产物生物转化机制以及微生物培养要求具体制定发酵工艺。



图1 发酵型特色植物资源原理简介图

表 1 可用于特色植物化妆品原料的常见微生物介绍

种类	微生物名称	菌株特性	发酵植物特性
细菌	植物乳杆菌 <i>Lactobacillus plantarum</i>	为革兰氏阳性菌，能在厌氧或微氧条件下生长，最适生长温度为 30–37℃。	用于植物原料发酵时，能促进糖类化合物的水解、转苷；能够产生乳酸、乙酸等有机酸 ^[2] ，以及胞外多糖、细菌素等物质 ^[3,4] ；促进植物多酚、黄酮的溶出和转化；发酵产物抗氧化活性通常提升 ^[5,6] 。
细菌	鼠李糖乳杆菌 <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	是一种革兰氏阳性菌，能够在厌氧或微氧条件下生长，最适生长温度为 30–37℃，耐酸。	能够代谢多种碳水化合物；合成醇类及酯类化合物，花香、果香风味突出 ^[7] ；发酵产物具有增强免疫、抗糖基化等作用。
细菌	乳酸链球菌 <i>Streptococcus lactis</i>	革兰氏阳性菌，兼性厌氧，最适生长温度为 20–30℃，生长快速。	有较强的蔗糖利用能力，生长及产酸较快；促进多酚和黄酮的释放，提高发酵产物的抗氧化性和抗菌性能 ^[8] 。
细菌	双歧杆菌属 <i>Bifidobacterium</i>	是放线菌门严格厌氧的革兰氏阳性多形性杆状细菌。最适生长温度为 36–40℃，最适 pH 范围 6.5–7.0。对培养条件和营养要求较高，能够利用葡萄糖进行生长和产物发酵。化妆品常用的二裂酵母也是一类双歧杆菌。	二裂酵母发酵产物含有乳酸、柠檬酸和琥珀酸等有机酸 ^[9] ，多种 B 族维生素以及活性多肽 ^[10] 。产物具有很强的抗免疫抑制活性并能促进 DNA 修复，防护紫外线引起的损伤，胞溶物具有美白、抗衰老的功能 ^[11] 。该属中的青春双歧杆菌（ <i>Bifidobacterium adolescentis</i> ）、长双歧杆菌（ <i>Bifidobacterium longum</i> ）、婴儿长双歧亚种（ <i>Bifidobacterium longum subsp. infantis</i> ）等均可用于植物原料的发酵，其葡萄糖苷酶活性较强，并能改善发酵产物气味。
细菌	地衣芽孢杆菌 <i>Bacillus licheniformis</i>	广泛存在于水体、土壤等各类生态环境中的革兰氏阳性细菌，是植物的根、茎部常见的内生细菌，兼性厌氧，能在低温和常温下快速生长，适合多种培养基质。	代谢分泌短杆菌肽、多粘菌素、制霉菌、脂肽 ^[12] 等多种抗菌物质；发酵具有良好的微生态调理作用；能分泌蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶等水解酶 ^[13] ，促进植物活性成分的溶出；有的菌株能够合成聚谷氨酸，具有极强的保湿功能；能够降解拟除虫菊酯类农药残留，消除农残污染 ^[14] 。
细菌	巴斯德醋杆菌 <i>Acetobacter pasteurianus</i>	革兰氏阴性菌，好氧菌，能耐受较高的温度（35–45℃）、酒精度和酸度，能够产生醋酸。	发酵过程产生乙偶姻等香味化合物，提升植物原料的风味；增加化妆品植物原料的抗氧化能力和抗菌能力；具有转化和促进植物多酚、花青素等溶出能力；能够与酵母、乳酸菌构成多菌生态发酵体系。
真菌	酿酒酵母 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	能够在低 pH 值和高糖浓度的环境中生长，厌氧条件下具有快速的发酵力，产生大量的二氧化碳和酒精。能够适应不同的环境胁迫。	发酵过程中能够产生酯类、醛类和酮类等香气化合物，提升原料的感官特性；产生较多的糖苷酶对植物成分进行复杂的转化，并降解植物多糖分子量；产生较多的 B 族维生素，提升化妆品原料的营养能力。能够与乳酸菌等形成协同发酵，适应多种原料体系 ^[15] 。
真菌	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	丝状真菌，能够在多种植物基质上生长，最适生长 pH 5.0–7.0，最适温度 33–36℃。	能够产生多样的强大的生物水解酶系，具有对植物淀粉、纤维素、蛋白质等高分子极强的转化能力 ^[16] ，能分解有机物质产生多种有机酸。发酵产物具有较强的抑菌、营养功能。已在化妆品原料的发酵中广泛使用，有改善植物原料的刺激性、增加植物多酚的溶出度 ^[17] ，发酵原料具有抗糖基化、美白功能。
真菌	米曲霉 <i>Aspergillus oryzae</i>	丝状真菌，需氧，生长速度快，适宜生长温度 35–37℃，能在多种培养基上快速形成菌落。分生孢子呈球形或近球形，直径一般为 4.5–7 μm，黄绿色。	产生蛋白酶、糖苷水解酶、单宁酶、果胶酶 ^[18,19] 等，能够产生曲酸、多肽及多种低聚糖，提高原料的营养性能和抗氧化性、美白性能，同时也能够降低原料的刺激性和毒性。
真菌	蝙蝠蛾拟青霉 <i>Paecilomyces hepiali</i>	是一种从冬虫夏草中分离得到的丛梗孢科虫草菌真菌，具有在人工控制条件下进行深层发酵培养的能力。	菌丝体产物含有虫草多糖、虫草酸、腺苷类物质，具有平衡免疫、改善细胞代谢能力 ^[20,21] ；产生蛋白酶、糖苷酶、漆酶、单宁酶等多种生物酶系，能够与中药材形成双向发酵体系。
真菌	松茸 <i>Tricholoma matsutake</i>	松茸因其独特的生长环境、营养价值和药用价值，成为了食用菌中的珍品，同时也是一种具有重要经济价值的天然资源。	发酵产物气味芬芳，富含 B 族维生素及多种氨基酸，并产生具有免疫调节活性的松茸糖蛋白 ^[22] 。松茸能够产生糖苷水解酶、漆酶等多种酶类 ^[23] ，对植物成分形成复杂的生物转化。

发酵结束后，根据化妆品原料的质量要求，对发酵产物进行分离提取和产物精制。下图 2 是典型的发酵工艺示意图，实际生产具体选择适合的工艺单元，或对强化一些单元。如针对富含淀粉的原料，在原料预处理阶段可以适当添加一些淀粉酶进行水解；发酵后，体系黏度低的物料，可以采用膜分离进行浓缩；如需要提高某些活性成分的含量，可以采用萃取、树脂吸附等多种分离工艺进行提纯。

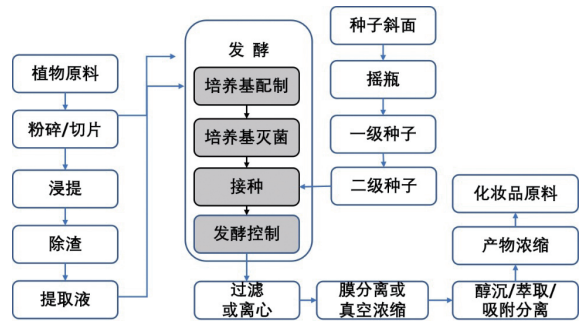


图 2 特色植物发酵化妆品原料工艺示意图

1.3 植物资源分类与发酵建议

中国因复杂多变的地形、西高东低的地势、多样化的气候以及丰富的水系等地理特征，为中国特色植物资源的生长提供了得天独厚的环境。根据《化妆品用中国特色植物原料目录》，已收录的特色植物品种约有300多种。面对如此繁多的植物资源，科学合理地开发和利用显得成为关键。首先，我们根据关键成分对代表性品种进行分类，并对发酵工艺提出建议（表2）；其次，在研发品种的选择上，一方面，应加强具有地域特色或品种优势的品种的研究，如高良姜、葛根、枸杞、甘草、桂花、积雪草、鸡血藤、金钗石斛、桔梗、蒲公英、华山姜、黄连、黄葵、白花蛇舌草、草珊瑚、长叶车前、大果越桔、滇黄精、杜仲等的开发，深入研究它们发酵工艺和发酵产物功能。另一方面，也应重视那些应用价值独特且具有国际化商业推广的品种的研发，如葛缕子、甘牛至、旱金莲、鸡蛋果、鸡爪槭、金樱子、金盏花、锦葵、火棘、艾草、白薇、地肤、地榆、东方香蒲、独活、番石榴、甘菊、高良姜等品种。

表2 典型特色植物资源与发酵工艺建议

关键成分	代表性品种	发酵工艺建议
多糖及半纤维素类	石斛、香菇、猴头菇、银耳、人参、芦荟、白芨、枸杞、无花果、百合	采用真菌强化多糖或淀粉基质的利用和转化，采用酵母-乳酸菌协同发酵强化活性物质溶出和转化；部分品种可以采用药食真菌双向发酵。
	绿茶、葡萄籽、银杏叶、紫锥花、紫草、红景天、蒲公英、竹叶、洋甘菊	利用乳酸菌进行快速发酵，以活性为导向加强发酵工艺的优化。
单宁色素类	桑叶、金盏菊、桑葚、枸杞、桔梗、柿子、火棘	采用多菌联合发酵或协同发酵方式，对单宁及色素进行降解和转化，促进水溶性物质生成。
甾醇、皂苷、生物碱类	绞股蓝、人参、甘草、金缕梅、千里光、大麻、甘草、黄芩、马齿苋	采用富含P450酶的丝状真菌或芽孢杆菌进行发酵，促进甾醇、皂苷等代谢产物的溶出和转化，重视菌株的耐受性筛选和培养基优化。
油脂和精油类	甜杏仁、薰衣草、鼠尾草、薄荷、柠檬、迷迭香、香茅、姜、紫苏	利用酵母、丝状真菌进行发酵，有利于风味的提升，加强发酵过程功能物质的分析和功能评价。
有机酸、氨基酸及维生素等类	桑葚、金针菇、薏苡仁、百合、牛蒡、沙棘、天冬、柠檬	采用酵母或药食真菌进行转化，进一步提升发酵产物的营养功能和活性小分子物质的含量。

2. 发酵提质增效原理

2.1 破坏细胞壁结构，提高活性成分提取率

植物细胞壁中的纤维素、半纤维素和木质素等物质会阻碍活性成分的释放，而研究普遍认为微生物可以产生纤维素酶、木质素酶、糖苷酶和果胶酶等胞外酶，这些酶能够降解细胞壁，增加细胞膜通透性，从而提高活性成分的溶出率。如黄芪甲苷是黄芪的主要活性成分之一，其可以促进皮肤胶原蛋白的有序排列、改善人皮肤成纤维细胞活性、抵抗光老化等。李保珍等^[24]使用沼泽红假单胞菌为发酵菌种，研究发酵对黄芪甲苷的含量，经过优化发酵条件，黄芪甲苷含量达到22.88 μg/mL,相较于未发酵黄芪中黄芪甲苷含量提高了63.9%。

然而，微生物的破壁作用存在一定的“植物选择性”，这是因为不同植物的细胞壁在化学组成和结构上存在差异，例如，木本植物通常含有较高的木质素（三种苯丙烷单元（对香豆醇、松柏醇、芥子醇）通过醚键和碳-碳键连接而成的复杂高分子聚合物），而草本植物则主要含有纤维素（β-D-葡萄糖单元通过1-4-β-糖苷键连接而成的直链多聚体）。这些差异会影响不同微生物对同一种植物进行发酵时有效成分的提取率，因此，为了达到更高的生物发酵提取效率，研究者通常会对菌种进行筛选和比较。如黄酮类化合物因其抗炎、抗氧化应激和保护DNA免受损伤的能力，能有效预防紫外线引起的光损伤，是一种预防皮肤光损伤和防晒产品的关键功效成分。崔欣悦等^[25]首先比较了5株自行分离的乳酸菌对新鲜柑橘皮的发酵效果，以总黄酮含量为评价标准，筛选出类干酪乳杆菌（5A-1-1）这一总黄酮含量最高的菌种，随后经过响应面优化发酵工艺条件，成功使得总黄酮含量提高了约22.4%。

值得注意的是，植物附生或内共生菌可能是获得优良破壁作用菌株的潜在来源，这些菌种适应了植物细胞壁的特定化学和物理特定，因此可能在破壁作用中表现出更高的提取率和特异性。如张月^[26]等以分离得到的来源于新鲜桔梗根部土壤的巨大芽孢杆菌 *Bacillus megaterium* ZY2104、人参芽孢杆菌 *B.ginsengisoli* ZY2103，来源于桔梗泡菜的类肠膜魏斯菌 *Weissella paramesenteroides* ZY2101、绿色魏斯菌 *W.viridescens* ZY2102，以及鼠李糖乳杆菌 *Lactobacillus rhamnosussw* 01、枯草芽孢杆菌 *B.subtilis* RZ001、啤酒酵母 *Saccharomyces pastorianus* S5、酿

酒酵母 *S. cerevisiae* AY12 和 *S. cerevisiae* BY14 作为实验菌对桔梗进行发酵,检测发酵前后桔梗中总多酚、总黄酮、总多糖含量的变化,发现巨大芽孢杆菌 ZY2104 发酵的桔梗提取液中总多酚、总黄酮、总多糖的质量浓度分别为 (5.06 ± 0.05) 、 (5.83 ± 0.06) 和 (8.96 ± 0.14) mg/mL,相较于其他菌种及未发酵组得到显著提高。

2.2 改变物质结构, 增强功效, 提高安全性

植物中不仅含有小分子碳源,还富含大分子物质,例如蛋白质、多酚、黄酮、多糖和生物碱^[27,28]等。这些大分子物质不能被微生物直接吸收利用,然而,它们可以通过酶促反应被分解与转化,这一过程涉及到特定的酶,例如还原酶、脱酰酶和糖苷酶等,这些酶不限于将大分子物质解聚成更小的单元,还可能转化生成新的物质^[29],进而影响其在皮肤应用时的效果。深入了解这些代谢过程与机制不仅有助于我们理解微生物如何利用植物中的大分子物质,还为开发新型化妆品原料和提高产品功效提供了科学依据。我们将发酵转化方式分为两个主要部分进行详细阐述:

2.2.1 非定向产物发酵转化

在植物发酵领域,许多研究并不专注于生产特定目标产物,而是更注重通过发酵过程实现功能的提升,因此研究者们通常会基于预期的功能效果来筛选合适的微生物菌种。特别的,一些研究特别关注从植物中提取特定成分,如多糖,然后进行发酵处理^[30,31]。研究认为,由于各种微生物自身产生的多糖以及通过酶促降解转化方面存在显著差异,使得发酵后的多糖在分子量、单糖种类和组成比例上呈现出多样的变化,这些变化为提高其皮肤渗透性或产生新功效提供了可能性。以铁皮石斛为例,研究表明,芽孢杆菌 DU-106 的发酵作用可以使其分子量从 4.92×10^5 D 增加到 5.21×10^5 D,并且甘露糖比例提高了 51.38%^[24],与而 Lin^[32]的研究发现,干酪乳杆菌和嗜酸乳杆菌发酵铁皮石斛多糖后,其分子量从 412.566 kD 显著降低至 25.161 kD,导致粒径更小,表观粘度也更低。

除了对特定成分的发酵研究,还有一部分研究关注于植物的全质化发酵。植物组成非常复杂,微生物发酵进一步增加了这种复杂性。尽管如此,这个领域仍然充满了挑战和机遇。随着代谢组学等学科的发展,对发酵植物物质转化的研究越来越多。许多研究者从不同角度对这些研究成果进行了很好的总结和综述,虽然这些研

究主要关注的是食品领域,但它们在发酵菌种、发酵工艺及产生的物质和功能方面,对化妆品领域也有着很重要的借鉴意义。例如 Shi^[33]聚焦于乳酸菌,综述了乳酸菌对植物资源物质变化的影响,讨论了乳酸菌在活性物质转换中的重要作用及其机制;同样聚焦于乳酸菌,Wang 等^[34]综述了乳酸菌发酵对植物多糖结构、功能的影响;在多酚方面,林登蕃等^[35]综述了近些年微生物在植物基食品中多酚的生物转化及生物活性研究进展,总结认为不同菌种的生物转化可以改变原料中多酚类物质的成分和含量,且它们对多酚的生物转化具有专一性,也具有多样性。通过菌种筛选工作,使用特定的微生物或者微生物组合,不仅可以将多酚转化为活性更高的物质,提高生物可及性,甚至还可以实现多酚类物质的定向转化;Zhang 等^[36]从抗氧化角度综述了发酵中草药在食品和医药领域的研究进展,认为中草药与微生物之间存在互相影响的关系,植物成分可以通过影响发酵菌株的代谢途径和基因表达,进一步影响发酵产物的抗氧化水平;Miao 等^[37]从多糖角度出发,综述了微生物对富含多糖的植物发酵后的物质以及功能变化等,总结认为微生物酶解多糖,释放解聚多糖以及葡萄糖、果糖、半乳糖等单糖,随后这些糖产物通过不同途径进一步代谢,不仅会生成不同的芳香化合物,产生特征性香气,还会生成丰富的功效物质。

但值得提出的是,发酵后,尽管大部分研究发现物质整体向提高生物利用度的方向发展,但是也会产生一些不利因素,如有糖基化保护的花色苷被糖苷酶催化成花色苷元,暴露了更多的羟基,抗氧化活性更活跃,稳定性反而下降;大分子的多酚被酶降解生成阿魏酸等小分子功效原料,但是在配方使用时水溶性差,性质不稳定,为了克服这些问题,需要结合制剂技术来改善原料的生物利用度,以提高配方稳定性和生物利用度^{[38][39]}。

2.2.2 定向产物发酵转化

除了非定向的代谢产物转化,一些研究致力于利用微生物发酵技术,针对性地转化植物中的特定成分,以精细调控植物成分,实现特定的功能性目标。这种转化过程通常依赖酶的作用,因此,为了实现定向转化,研究者需要获得能够产生特定转化酶的微生物,这一目标可以通过两种途径实现:一是筛选出具有所需酶活性的野生菌株,二是通过挖掘特定的酶基因并进行克隆表达。例如,梅建凤等^[16]从积雪草富集培养物中分离筛选到一株黑曲霉 JH01

菌株,该菌株能够将积雪草苷转化为积雪草酸,转化率高达98.2%; Xu等^[40]为了提高稀有人参皂苷含量,筛选得到一株高效转化稀有皂苷的植物乳杆菌,通过优化方法,稀有人参皂苷 Rh1、F2、Rg、CK分别增加了18.48%、135.73%、343.03%、441.80%,而这些稀有皂苷在抗皮肤光老化、美白产品开发中具有巨大的潜力^[41]。

除了提高目标产物含量外,定向转化还可以减少有害物质含量,从而降低潜在的副作用。以银杏叶中的银杏酸为例,它具有一定细胞毒副作用,能引起过敏反应,经过筛选,研究者得到一株脱除率极高的菌株,能够将银杏酸的脱除率提高至92.7%^[42]。同样,香豆素类化合物因其潜在的致敏性和光毒性等安全风险而备受关注^[43], Gu等^[44]成功分离出一株假单胞菌 NyZ480,在优化条件下,该菌株能在4 h内完全降解香豆素,实现了植物材料的脱敏处理。但是这样的工程菌并未收录在目录中,因此它们是否适用于植物转化还需要进一步的探索和研究。

3. 存在的机遇与挑战

3.1 菌株选育与优化

高产菌株的筛选和培育对于发酵型植物化妆品原料的开发至关重要,这对许多传统植物型日化原料企业而言,既是技术上的挑战,也是发展的限制因素。一方面,目录中收录的菌种种类有限,这限制了在开发发酵型原料时可供选择的菌种范围。另一方面,尽管基因工程菌在特定代谢途径中展现出显著优势,例如它们能够高效生产转化所需的生物酶,可以提高转化效率,或实现特定化合物的转化,尽管它们在植物发酵过程中具有巨大的应用潜力,但仍存在安全性和伦理问题,如何解决这类原料开发和伦理之间的矛盾,仍需更多深入全面的研究。

3.2 产品安全性与法规遵循

植物成分本身就是多种复杂的物质组成的,而经过微生物发酵过程进一步增加了这种复杂性,有时甚至有可能会产生有害物质。例如,香豆素类化合物对紫外线非常敏感,容易引发皮炎,甚至致癌,因此在目录中既有禁用成分,也有限用成分。发酵含这一类物质的天然植物提取物原料很可能会增加其含量,造成潜在的风险。因此,需要充分研究物质变化,寻找发酵工艺与物质变化的关系,以实现发酵的可调控,以及进行安全性、功效性评估是至

重要的。

3.3 发酵生产工艺与成本控制

发酵过程需要精确控制多种参数,如温度、pH值和氧气供应,以确保最佳的生长条件和代谢活性。同时,培养基的选择和成本控制也是影响经济效益的重要因素。培养基的选择不仅需要维持微生物的正常生长,还要合成预定的发酵产物,同时考虑经济效益,选择价廉、来源丰富、运输方便、就地取材且无毒的原料。培养基的组成对产物得率、生长菌的生长及代谢速度、代谢副产物生成量都有重要影响。

总体而言,发酵型植物资源在化妆品行业孕育着丰富的发展机遇,同时也面临着不少挑战。通过跨学科的合作与创新,我们可以充分利用发酵技术增强植物原料的功效和安全性,进而开发出更多高效、环保的化妆品原料。同时,我们也需要克服技术难题、确保产品质量、遵循法规要求等挑战,以促进行业的可持续发展。随着科技的进步和市场需求的变化,这一领域有望不断取得新的突破。

参考文献

- [1] 李洋, 黄丹, 杨安全, 等. 植物提取物生物发酵及其产物在化妆品中的应用 [J]. 林业工程学报, 2024, 9(5):1-12.
- [2] VN Veetil and AV Chitra. Optimization of bacteriocin production by *Lactobacillus plantarum* using response surface methodology[J]. Cellular and Molecular Biology, 2022, 68(6):105-110.
- [3] 孙婷, 陈世贤, 刘伟贤, 等. 乳酸菌代谢产物研究进展 [C]. 2017中国乳制品工业协会第二十三次年会论文集. 2017:128-131.
- [4] 赵婧, 高永娇, 孙靖辰, 等. 乳酸菌胞外多糖的研究进展 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2023, 35(5): 51-56,105.
- [5] 刘士伟, 刘胜楠, 米倩雯, 等. 植物乳杆菌发酵人参中活性成分改变及抗氧化作用 [J]. 食品科学, 2023, 44(20):252-259.
- [6] AS Eweys, YS Zhao and OM Darwesh. Improving the antioxidant and anticancer potential of *Cinnamomum cassia* fermentation with *Lactobacillus plantarum*[J]. Biotechnology Reports, 2022, 36:e00768.
- [7] MQ Pei, ZF Zhao, S Chen, et al. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08 [J]. Food Bioscience, 2022, 46:101590.
- [8] 杨福廷. 脂肽类生物表面活性剂研究进展 [J]. 精细化工, 2006, 23(2):121-125.
- [9] 滕迎弟, 王晨曦, 陈一凡, 等. 双歧杆菌的有益代谢物生成途径及其健康作用和应用 [J]. 食品科学, 2024, 45(19): 287-295.
- [10] 银佳, 冯立科, 杨爱君, 等. 产B族维生素微生物研究进展 [J]. 中国乳业, 2023(10): 105-115.
- [11] C Chen, HL Li, YP Zhu, et al. Effect of fermentation with single

and co-culture of lactic acid bacteria on Chinese *Elaeagnus angustifolia* juice: Evaluation of bioactive compounds and volatile profiles[J]. Food Bioscience, 2024, 61:104986.

[12] 刘青, 刘波, 徐欣欣, 等. 微生物表面活性素合成调控和高效生产研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(4):23-31.

[13] 任文义, 程雨辰, 何金童, 等. 地衣芽孢杆菌的生物学功能及其作为青贮饲料添加剂的应用潜力[J]. 动物营养学报, 2023, 35(10):6269-6276.

[14] 丁海涛, 李顺鹏, 沈标, 等. 拟除虫菊酯类农药残留降解菌的筛选及其生理特性研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1):123-129.

[15] 陈来成, 陈冬杰, 邹洁, 等. 金线莲发酵液的抗氧化和美白功效研究[J]. 日用化学工业(中英文), 2024, 54(6): 656-662.

[16] 梅建凤, 金航, 李靓, 等. 生物转化法提高积雪草中积雪草酸的质量分数[J]. 浙江工业大学学报, 2015, 43(5):573-577.

[17] 周晶, 桂雨豪, 龚盛昭. 茶籽壳发酵物的抗氧化活性及其对细胞内氧化损伤抑制作用[J]. 林产化学与工业, 2019, 39(4):105-112.

[18] W Miao, N Li and JL Wu, et al. Food-polysaccharide utilization via in vitro fermentation: microbiota, structure, and function[J]. Current Opinion in Food Science, 2022, 48:100911.

[19] 梁锦云, 温林凤, 李俊, 等. 酱油中米曲霉酶系组成及其应用的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(03):289-295.

[20] BM Ting, YZ Jiang, RJ Liu, et al. Positive effects of extracellular polysaccharides from *Paecilomyces hepiali* on immune-enhancing properties by regulating gut microbiota in cyclophosphamide-induced mice[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 274:133390.

[21] A Dan, YJ Hu, RY Chen, et al. Advances in research on chemical constituents and pharmacological effects of *Paecilomyces hepiali* [J]. Food Science and Human Wellness, 2021, 10: 401-407.

[22] 郑爽. 松茸液体发酵产物的美白作用的研究[D]. 吉林农业大学, 2014.

[23] 赵爽, 刘宇, 许峰, 等. 姬松茸4个品种菌丝体的生物酶活性测定[J]. 中国食用菌, 2010, 29(3):32-33.

[24] 李保珍, 刘琪, 王鑫, 等. 沼泽红假单胞菌发酵提高黄芪甲苷含量的条件优化[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2022, 42(2): 89-95.

[25] 崔欣悦, 凌空, 周明, 等. 乳酸菌发酵柑橘皮的工艺研究及优化[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 126-133.

[26] 张月, 赵崇杰, 韩先磊, 等. 发酵桔梗活性成分分析及抗氧化能力研究[J]. 中国现代中药, 2022, 24(11): 2101-2108.

[27] 杜叶, 邓梦雨, 刘日慧, 等. 植物中药资源非药用部位在化妆品中的应用[J/OL]. 环境与健康杂志, 2024, 1-4

[28] 吴建新, 赵鸿萍, 廖俊, 等. 中国药科大学发布特色植物资源化妆品大数据趋势分析报告[J]. 中国化妆品, 2021, (12): 72-78.

[29] LY Wei, YM Li, ZN Hao, et al. Fermentation improves antioxidant capacity and γ -aminobutyric acid content of Ganmai Dazao Decoction by lactic acid bacteria[J]. Frontiers in Microbiology, 2023,

14:1274353.

[30] WN Tian, LW Dai, SM Lu, et al. Effect of *Bacillus* sp. DU-106 fermentation on *Dendrobium officinale* polysaccharide: Structure and immunoregulatory activities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 135:1034-1042.

[31] LH Chen, ZH Wang, YY M, et al. Effect of solid-state co-fermentation on the structural characteristics and bioactivities of polysaccharides in the medicinal residues of *Gastrodia* *Ganoderma*[J]. Food Bioscience, 2024, 61:104945.

[32] HS Lin, YN Cheng, LX Liang, et al. Effects of the *Lactobacillus* fermentation on *Dendrobium officinale* polysaccharide: Structural, physicochemical properties and in vitro bioactivities[J]. Food Bioscience, 2024, 61:105003.

[33] HS Shi, YL Zhao, WM Wang, et al. The potential of lactic acid bacteria in fermented herbs-derived food products[J]. The potential of lactic acid bacteria in fermented herbs-derived food products, 2024, 61:104714.

[34] ZC Wang, Y Zheng, XY Zhou, et al. Effect of *Lactobacillus* fermentation on the structural feature, physicochemical property, and bioactivity of plant and fungal polysaccharides: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 148:104492.

[35] 林登蕃, 郑志豪, 周映君, 等. 植物基食品中多酚的生物转化及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(14): 319-327.

[36] YZ Zhang, J Zhang, JW Yan, et al. Application of fermented Chinese herbal medicines in food and medicine field: From an antioxidant perspective[J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 148:104410.

[37] W Miao, N Li and JL Wu, et al. Food-polysaccharide utilization via in vitro fermentation: microbiota, structure, and function[J]. Current Opinion in Food Science, 2022, 48:100911.

[38] 熊洁, 杨丹, 孟宏, 等. 阿魏酸皮肤生理作用及其化妆品包载技术研究进展[J]. 日用化学工业(中英文), 2023, 53(9):1073-1079.

[39] 李和伟. 药物制剂技术在化妆品中的应用[J]. 中国化妆品, 2023, (03):78-81.

[40] YQ Xu, YQ Tang, T Liu, et al. Optimization of Rare Ginsenosides and Antioxidant Activity Quality of Ginseng Jiaosu Based on Probiotic Strains and Fermentation Technology[J]. Journal of Food Quality, 2023.

[41] 李雅静, 沈洪云, 兰梦, 等. 人参对光损伤皮肤的保护作用及研究现状[J]. 人参研究, 2024, 36(02):56-59.

[42] 李志慧. 高效脱除银杏酸菌株的筛选鉴定及机理探究[D]. 淮阴工学院, 2023.

[43] 张红菱, 程琳, 王海燕, 等. 应用 DPRA 替代方法评价3种香豆素类化合物的皮肤致敏性[J]. 日用化学工业(中英文), 2024, 54(2):156-160

[44] YC Gu, T Li, CF Yin, et al. Elucidation of the coumarin degradation by *Pseudomonas* sp. strain NyZ480[J]. Journal of Hazardous Materials, 2023, 457:131802.

Research and Application on Bio-Fermentation of Characteristic Plant Resources for Cosmetics

Jiang Min¹, Shi Jin-song^{1*}, Li Feng², Jiang Xiu-yu², Peng Bo², Li Heng¹

(1.School of Life Sciences and Health Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu , 214122

2.Amway China Plant Research and Development Center Ltd, Wuxi, Jiangsu, 214122)

Abstract : Fermented specialty plant resources for novel cosmetic ingredients refer to the use of microbial fermentation processes to enhance the content of effective components in plants or to produce new bioactive substances. This field not only has tremendous potential for development and market prospects but also faces a series of challenges. This article, from the perspective of microbiology, outlines common plant fermentation microorganisms and fermentation technologies in the cosmetic field, and delves into the principles of quality and efficiency enhancement through plant fermentation, aiming to provide references and insights for researchers in related fields.

Keywords : specialty plant resources; fermented; cosmetics

