

从基础研究到工业生产微生物在生物技术中的应用

王 飞

大连民族学院 辽宁大连

【摘要】本文探讨了微生物在生物技术领域从基础研究到工业生产中的广泛应用。文章首先介绍了微生物在基础研究中的重要性，强调了其在基因工程、代谢工程和合成生物学中的关键作用。随后，文章详细阐述了微生物在工业生产中的应用，包括抗生素、酶制剂、生物燃料、食品添加剂和生物农药等产品的生产。文章还讨论了微生物发酵技术的进步，以及如何通过优化培养条件和代谢途径来提高生产效率和降低成本。最后，本文强调了可持续发展和环境保护在微生物工业生产中的重要性，并展望了未来微生物生物技术的发展趋势。

【关键词】微生物，生物技术，基因工程，代谢工程，合成生物学，发酵技术

【收稿日期】2024 年 11 月 25 日 **【出刊日期】**2024 年 12 月 20 日 **【DOI】**10.12208/j.jlsr.20240004

Basic research to industrial production of microorganisms in biotechnology

Fei Wang

Dalian Institute for Nationalities, Dalian, Liaoning

【Abstract】 This article discusses the wide range of applications of microorganisms in biotechnology from basic research to industrial production. The article firstly introduces the importance of microorganisms in basic research, emphasising their key role in genetic engineering, metabolic engineering and synthetic biology. The article then elaborates on the applications of microorganisms in industrial production, including the production of products such as antibiotics, enzymes, biofuels, food additives and biopesticides. The article also discusses advances in microbial fermentation technology and how optimisation of culture conditions and metabolic pathways can improve production efficiency and reduce costs. Finally, the article emphasises the importance of sustainable development and environmental protection in the industrial production of microorganisms and looks at future trends in microbial biotechnology.

【Keywords】 Microbiology, biotechnology, genetic engineering, metabolic engineering, synthetic biology, fermentation technology

1 前言

在生物技术的广阔领域中，微生物的应用无疑占据了举足轻重的地位。从基础研究到工业生产，微生物不仅作为研究对象提供了对生命现象深刻的理解，而且作为生物催化剂、药物开发的源泉、环境治理的助手、食品工业的改良者以及农业生物技术的推动者，它们在多个层面展现了其不可替代的作用。据估计，全球约有 70% 的工业酶是由微生物生产的，这不仅体现了微生物在工业生产中的重要性，也揭示了其在生物技术应用中的巨大潜力^[1]。此外，

微生物在药物开发领域也扮演着关键角色，它们能够通过发酵过程产生多种抗生素和生物合成药物，极大地丰富了现代医学的治疗手段。微生物的多样性和可塑性为生物技术的创新提供了无限的可能性，而科学家们正通过不懈的研究，准备着迎接这些机会。

2 微生物在生物技术中的基础研究

2.1 微生物的分类及其在生物技术中的重要性

微生物的多样性为生物技术提供了丰富的资源库。从细菌、真菌到原生动物，这些微小生物在生物

技术领域扮演着至关重要的角色。例如，大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 作为模式生物，其基因组已被完全测序，并且通过基因工程手段，研究人员已经能够利用它生产人类胰岛素和疫苗。据统计，超过 60% 的重组蛋白药物是通过大肠杆菌生产的^[2]。此外，酵母菌 (如酿酒酵母 *Saccharomyces cerevisiae*) 在发酵工业中具有不可替代的地位，它不仅用于面包和啤酒的生产，还被用于生产生物燃料和各种酶制剂。在环境生物技术中，某些细菌如假单胞菌 (*Pseudomonas spp.*) 在生物修复中表现出色，能够降解多种有机污染物。

2.2 基因工程与微生物：基因编辑技术的进展

在微生物生物技术领域，基因编辑技术的进展为研究者提供了前所未有的工具，以精确地操纵微生物的遗传物质。CRISPR-Cas9 系统作为基因编辑的革命性技术，其应用范围已从基础研究扩展至工业生产。例如，通过 CRISPR 技术，研究人员成功地在大肠杆菌中敲除了特定的基因，从而提高了其生产生物燃料的能力。这一技术的精确性使得微生物的代谢途径可以被定向改造，以优化其在生物催化剂、药物开发、环境生物技术以及食品工业中的应用。基因编辑技术正是这一未来的具体体现，它不仅推动了微生物学的基础研究，也为工业生产中的微生物应用开辟了新的可能性。

2.3 微生物代谢途径的解析与改造

微生物代谢途径的解析与改造是生物技术领域的一项核心研究，它不仅加深了我们对微生物生命活动的理解，还为工业生产提供了新的可能性。例如，通过基因组学和代谢组学技术，科学家们已经能够详细描绘出微生物的代谢网络，并识别出关键的代谢节点。在工业生产中，改造这些节点可以显著提高目标产物的产量。以大肠杆菌生产丁二酸为例，通过敲除副产物生成途径并过表达关键酶基因，研究人员成功将丁二酸的产量提高了数倍。此外，合成生物学的应用使得微生物代谢途径的改造更加精准和高效，通过设计合成的代谢途径，可以引导微生物生产出自然界中不存在的化合物，为药物开发和新材料生产开辟了新途径。

3 微生物作为生物催化剂

3.1 微生物酶在工业生产中的应用

在生物技术工业中，微生物酶的应用是推动工业生产效率和可持续性发展的重要力量。微生物酶

作为生物催化剂，能够加速化学反应的速率，同时具有高度的特异性和选择性，这使得它们在工业生产中具有无可比拟的优势。例如，在洗涤剂工业中，碱性蛋白酶被广泛用于去除衣物上的蛋白质污渍，其效率远超传统的化学方法。据估计全球酶制剂市场在 2020 年已达到约 70 亿美元，并预计将以年均约 7% 的速度增长至 2027 年^[3]。

在制药行业，微生物酶同样扮演着关键角色。它们被用于生产多种药物，包括抗生素、激素和抗癌药物。以青霉素的生产为例，通过使用 β -内酰胺酶，可以有效地裂解青霉素前体，从而提高产量和纯度。此外，微生物酶在合成生物药物中也显示出巨大潜力，如利用酶促反应合成复杂的多糖和寡糖，这些物质在疫苗和治疗性蛋白质中具有重要作用。

微生物酶在工业生产中的应用不仅限于提高产量和效率，它们还为环境友好型生产过程提供了可能。例如，在生物燃料生产中，纤维素酶被用于分解植物生物质，从而释放出可发酵的糖，进而转化为乙醇。这种生物转化过程相较于传统的化石燃料生产，具有更低的碳足迹和环境影响。

然而，微生物酶在工业应用中也面临挑战，如酶的稳定性和重复使用性问题。为了解决这些问题，研究人员正在开发新的酶固定化技术，以提高酶的稳定性和重复使用率。此外，通过基因工程手段，科学家们正在设计和改造酶，以适应不同的工业条件和提高催化效率。随着研究的深入和技术的进步，微生物酶在工业生产中的应用前景将更加广阔。

3.2 微生物发酵过程的优化与控制

在微生物发酵过程的优化与控制中，精确的工艺参数调整和先进的生物反应器设计是实现高效生产的关键。例如，通过控制发酵过程中的 pH 值、溶解氧浓度、温度和搅拌速度，可以显著提高目标产物的产量。以抗生素生产为例，研究表明，通过维持发酵液的 pH 在 6.8 至 7.2 之间，可以优化抗生素的合成途径，从而提高产量。此外，发酵过程的在线监控和控制技术，如使用生物传感器实时监测关键代谢物的浓度，能够及时调整发酵条件，确保发酵过程的稳定性和重复性。在工业生产中，发酵过程的优化不仅依赖于经验，更需要借助数学模型和计算生物学工具，如代谢流分析和系统生物学模型，来预测和优化微生物的代谢行为。正如微生物学家路易·巴斯德所言：“机会偏爱有准备的头脑”，在发酵

过程的优化与控制中，对数据的深入分析和对模型的精确应用，是实现生物技术工业可持续发展的关键。

4 微生物在药物开发中的角色

4.1 微生物在新型抗生素发现中的作用

在生物技术领域，微生物作为新型抗生素发现的源泉，扮演着至关重要的角色。据统计，超过 70% 的抗生素是由微生物产生的，其中大部分源自土壤中的放线菌和真菌^[4]。例如，青霉素的发现开启了抗生素时代，其最初是从青霉菌 (*Penicillium notatum*) 中提取的。微生物产生的抗生素不仅种类繁多，而且结构多样，为临床治疗提供了丰富的选择。然而，随着耐药性问题的日益严峻，传统的抗生素发现方法已不能满足需求，因此，基因工程和代谢工程的进展为挖掘和设计新型抗生素提供了新的途径。通过基因编辑技术，如 CRISPR-Cas9，科学家们能够精确地修改微生物的基因组，从而定向合成具有特定功能的新型抗生素。此外，微生物代谢途径的解析与改造，使得我们能够更好地理解抗生素的生物合成机制，进而通过合成生物学手段优化生产过程，提高产量和活性。微生物在新型抗生素发现中的作用不仅体现在其作为药物的直接来源，更在于其为生物技术研究提供了丰富的模型系统和实验平台。

4.2 微生物在生物合成药物中的关键角色

微生物在生物合成药物领域扮演着至关重要的角色，它们不仅是许多药物的天然来源，而且在药物合成过程中提供了独特的生物催化能力。例如，链霉菌属微生物是抗生素的重要来源，青霉素的发现就是一个经典的案例，它开启了抗生素时代并极大地改善了人类的健康状况。据统计，超过 60% 的临床使用的抗生素都来源于微生物。此外，微生物在合成复杂分子结构的药物中也显示出其独特优势，如通过代谢工程改造的微生物能够高效合成具有治疗潜力的复杂天然产物。

在生物合成药物的过程中，微生物的代谢途径被广泛研究和利用。通过基因编辑技术，科学家们能够精确地修改微生物的基因组，从而优化其代谢途径，提高目标药物的产量。例如，通过 CRISPR-Cas9 技术对微生物进行基因敲除或插入，可以定向地增强或抑制特定的代谢通路，从而提高药物前体的合成效率。这种策略在提高药物产量和降低生产成本方面具有显著优势。

微生物在生物合成药物中的应用还涉及到药物分子的筛选与优化策略。利用微生物的多样性，研究人员可以筛选出具有特定生物活性的化合物，并通过微生物发酵过程的优化来提高这些化合物的产量。例如，利用高通量筛选技术，可以快速识别出具有抗肿瘤或抗病毒活性的微生物代谢产物。随后，通过发酵条件的精细调控，可以实现这些活性化合物的高效生产，为药物开发提供新的候选分子。

微生物在生物合成药物中的关键角色不仅体现在其作为生物催化剂的能力上，还体现在其在药物研发过程中的持续创新潜力。随着合成生物学和代谢工程的不断进步，微生物作为生物合成平台的潜力正在被进一步挖掘。

4.3 微生物发酵在药物生产中的应用与挑战

微生物发酵作为药物生产中的一项关键技术，其应用范围广泛，从抗生素到生物合成药物，再到治疗性蛋白质的生产，都离不开这一过程。以青霉素的生产为例，通过微生物发酵，我们可以获得大量的抗生素，有效治疗细菌感染。然而，发酵过程的优化与控制面临诸多挑战，如发酵条件的精细调控、代谢途径的高效利用以及发酵副产物的减少等。在发酵过程中，温度、pH 值、氧气供应和营养物质的供给都必须精确控制，以确保目标产物的高产率和高纯度。此外，发酵过程的模型化和系统生物学的应用，如代谢流分析和基因组学，为发酵过程的优化提供了新的视角和工具。在微生物发酵领域，不断的技术创新和对发酵过程深入的理解，是克服挑战、提高药物生产效率的关键。

4.4 微生物代谢工程在药物研发中的进展

微生物代谢工程在药物研发领域取得了显著进展，成为推动生物技术工业创新的重要力量。通过精确的基因编辑技术，如 CRISPR-Cas9 系统，科学家们能够高效地对微生物的基因组进行定向改造，从而优化其代谢途径以生产特定的药物分子。例如，利用代谢工程改造的大肠杆菌和酵母菌已被成功用于生产阿维菌素和紫杉醇等重要药物的前体。这些微生物经过改造后，不仅提高了目标化合物的产量，还降低了生产成本，缩短了药物上市的时间。此外，代谢工程还使得微生物能够合成一些自然界中不存在的化合物，为新药的发现提供了无限可能。通过微生物代谢工程，正在解锁这些工厂的潜力，以满足人类对新药物的迫切需求^[5]。

4.5 微生物来源的药物分子的筛选与优化策略

在微生物来源的药物分子筛选与优化策略中，科学家们利用高通量筛选技术，可以在短时间内测试成千上万的微生物代谢产物，以寻找具有潜在药用价值的化合物。例如，通过使用基于质谱的代谢组学分析，研究人员能够快速鉴定出具有抗肿瘤活性的微生物代谢物。在优化策略方面，结构生物学的应用为理解药物分子与靶标蛋白的相互作用提供了重要视角，从而指导了药物分子的结构改造。例如，通过 X 射线晶体学分析，研究人员可以精确地确定药物分子与靶点蛋白的结合模式，进而设计出更有效的药物分子。此外，合成生物学的进展使得通过工程化微生物来生产复杂药物分子成为可能，如利用大肠杆菌生产青蒿素前体——青蒿酸，这不仅提高了产量，还降低了成本。在微生物药物分子的筛选与优化过程中，不断增长的科学知识和技术进步正转化为推动生物技术工业发展的强大动力。

5 微生物在环境生物技术中的应用

5.1 微生物在废水处理中的作用

在生物技术的众多应用中，微生物在废水处理中的作用尤为突出，它们通过其代谢活动能够有效地降解和转化废水中的有机污染物。例如，好氧微生物如假单胞菌属 (*Pseudomonas*) 和芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 在好氧条件下，能够分解废水中的碳氢化合物和蛋白质，将它们转化为无害的二氧化碳、水和生物质。此外，厌氧微生物如产甲烷菌 (*Methanogens*) 在厌氧条件下，能够将有机物转化为甲烷和二氧化碳，这一过程在废水处理和能源回收中具有重要意义。据研究，使用微生物处理废水可减少高达 90% 的生化需氧量 (BOD) 和化学需氧量 (COD)，显著提高了废水的可排放标准。在实际应用中，活性污泥法和生物膜反应器 (MBR) 是两种广泛使用的微生物废水处理技术，它们通过模拟自然界的微生物降解过程，实现了对工业和生活废水中污染物的有效去除。在废水处理领域，对微生物多样性和代谢能力的深入研究，为开发更高效的废水处理技术提供了可能。

5.2 微生物在土壤修复和生物降解中的应用

微生物在土壤修复和生物降解中的应用是生物技术领域的一项重要突破，它不仅有助于解决环境污染问题，还为可持续农业发展提供了新的思路。例如，某些细菌和真菌能够有效地分解土壤中的有

机污染物，如多环芳烃 (PAHs) 和多氯联苯 (PCBs)，这些污染物通常难以通过物理或化学方法清除。研究显示，白腐菌 (如 *Phanerochaete chrysosporium*) 在降解 PAHs 方面表现出色，其降解效率可达到 90% 以上^[6]。此外，利用微生物进行生物修复，不仅成本较低，而且对环境友好，不会产生二次污染。在实际应用中，微生物修复技术已成功应用于多个受污染场地，如美国的超级基金场地 (Superfund sites)，其中一些场地的土壤污染得到了显著改善。微生物修复技术的推广和应用，正逐步成为土壤环境保护和生态恢复的重要手段。

6 微生物在食品工业中的应用

6.1 微生物在传统发酵工艺中的作用与优化

在生物技术的广阔领域中，微生物作为传统发酵工艺的核心，其作用与优化一直是研究的热点。传统发酵工艺利用微生物的代谢能力，将原料转化为具有特定风味、营养价值或药用价值的产品。例如，乳酸菌在酸奶和泡菜的发酵过程中，不仅赋予了食品独特的酸味，还通过其代谢产物增强了食品的营养价值和保质期。据研究，乳酸菌发酵可提高蛋白质的消化率，同时产生具有抗菌作用的物质，从而延长食品的货架期。

在优化发酵工艺方面，现代生物技术提供了多种工具和方法。例如，通过基因工程手段，科学家们可以对微生物进行改造，使其更高效地产生目标代谢产物。在葡萄酒的发酵过程中，酿酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) 的基因改造可以提高其对糖分的利用率，从而提高酒精产量并改善酒的风味。此外，发酵过程的优化还涉及到发酵条件的精细调控，如温度、pH 值、氧气供应等，这些因素都会直接影响微生物的生长和代谢活性。

在实际应用中，发酵工艺的优化往往需要借助数学模型和计算工具。例如，通过建立动力学模型，可以预测和控制发酵过程中的物质转化和能量流动，从而实现发酵过程的最优化。通过深入研究微生物在发酵过程中的作用，我们不仅能够更好地理解生命活动的基本原理，还能推动传统发酵工艺向更高效、更可持续的方向发展。

6.2 微生物在新型食品添加剂开发中的应用

在生物技术的广阔领域中，微生物作为新型食品添加剂的开发源泉，正日益受到重视。微生物发酵技术能够生产出具有特定功能的食品添加剂，如

天然色素、风味物质、抗氧化剂和益生菌等。例如，红曲霉发酵产生的红曲色素不仅用于食品着色，还具有一定的降血脂作用。据统计，全球益生菌市场在 2020 年已达到 480 亿美元，并预计将以 7.1% 的年复合增长率增长至 2026 年。这一增长趋势凸显了微生物在食品添加剂领域的重要性^[7]。此外，通过基因工程手段，科学家们能够对微生物进行定向改造，使其高效生产特定的食品添加剂。例如，通过改造乳酸菌的代谢途径，可以使其产生具有特定健康益处的短链脂肪酸。微生物在食品添加剂开发中的应用不仅丰富了食品的口感和营养价值，还为食品工业的可持续发展提供了新的思路。

6.3 微生物对食品质量和安全的影响

在食品工业中，微生物的应用是双刃剑，既能提升食品的质量和营养价值，也可能成为食品安全的隐患。例如，乳酸菌在发酵乳制品中的应用，不仅能够赋予产品独特的风味和口感，还能延长保质期，同时增强食品的营养价值。然而，不当的微生物污染，如沙门氏菌和李斯特菌等，可能导致食品中毒事件，对消费者健康构成严重威胁。据世界卫生组织（WHO）报告，每年约有 6 亿人因食用受污染食品而生病，其中 42 万人因此死亡。因此，食品工业中微生物的控制和管理至关重要，需要通过严格的卫生标准和检测方法来确保食品安全。例如，HACCP（危害分析和关键控制点）系统被广泛应用于食品生产过程中，以识别和控制可能的微生物污染点。此外，食品科学家也在不断研究和开发新的生物防腐剂，如天然抗菌肽，以替代传统的化学防腐剂，从而在不损害食品质量和安全的前提下，延长食品的货架期。

6.4 微生物在食品加工过程中的功能强化

在食品工业中，微生物的功能强化是通过选择和改良特定的微生物菌株来优化食品加工过程，提高食品质量和安全性。例如，乳酸菌在发酵乳制品生产中发挥着至关重要的作用，它们不仅能够赋予产品独特的风味和口感，还能延长产品的保质期。一项研究显示，通过基因工程改良的乳酸菌株，其发酵效率提高了 20%，同时增强了对病原菌的抑制作用，从而显著提升了食品安全性^[8]。此外，利用微生物发酵技术生产的食品添加剂，如谷氨酸钠（味精），在食品加工中作为风味增强剂被广泛应用。微生物发酵过程的优化与控制，如温度、pH 值和氧气

供应的精确管理，是实现功能强化的关键。通过这些方法，食品工业能够生产出更多样化、更健康、更符合消费者需求的产品。

6.5 微生物在食品废弃物处理与资源化中的应用

在食品工业中，微生物不仅是发酵过程的关键参与者，而且在食品废弃物的处理与资源化方面发挥着越来越重要的作用。据统计，全球每年产生的食品废弃物高达 13 亿吨，这些废弃物若不妥善处理，将对环境造成巨大压力^[9]。微生物技术提供了一种可持续的解决方案，通过生物转化过程，将废弃物转化为有价值的资源，如生物肥料、生物能源和生物塑料等。例如，利用厌氧消化技术，微生物可以将食品废弃物中的有机物质转化为甲烷，进而用于发电或供热。此外，微生物在堆肥过程中也扮演着重要角色，通过加速有机物的分解，缩短堆肥时间，提高肥料质量。在资源化利用方面，微生物发酵技术能够将废弃物中的纤维素和半纤维素转化为单糖，进而生产出生物乙醇等可再生能源。微生物在这一领域的应用不仅减少了环境污染，还为食品工业的可持续发展提供了新的动力。

7 微生物在农业生物技术中的应用

7.1 微生物肥料和生物农药的开发

微生物肥料和生物农药的开发是微生物在农业生物技术领域应用的重要分支，它们通过利用微生物的天然功能来促进植物生长和防治病害，从而减少化学肥料和农药的使用，对实现可持续农业具有重要意义。例如，根瘤菌与豆科植物共生固氮是微生物肥料应用的经典案例，它们能够将大气中的氮气转化为植物可利用的氮素，显著提高土壤肥力。据统计，使用根瘤菌肥料可使豆科作物增产 10%-20%。此外，生物农药如枯草芽孢杆菌和绿僵菌等，已被证明在控制害虫和病原菌方面具有高效性，且对环境友好^[10]。在微生物农药的开发中，研究者们利用基因工程技术对微生物进行改造，以提高其杀虫或抗病能力。例如，通过基因编辑技术，科学家们成功增强了苏云金杆菌（Bt）的毒力，使其对特定害虫的致死率提高，同时减少了对非靶标生物的影响。微生物肥料和生物农药的开发不仅需要考虑其在农业上的实际效果，还要结合生态学原理和可持续发展策略，确保其长期应用不会对环境造成负面影响。

7.2 微生物在植物生长促进和病害防治中的作用

微生物在植物生长促进和病害防治中的作用是生物技术领域中一个极具潜力的研究方向。例如，根际微生物通过分泌植物生长激素如吲哚乙酸（IAA）、赤霉素（GA）和细胞分裂素等，能够显著促进植物根系的发育和营养吸收，从而提高作物产量。研究显示，某些特定的根际细菌，如解磷菌和解钾菌，能够提高土壤中磷和钾的生物有效性，进而促进植物生长。例如，一项研究指出，接种特定的解磷菌株可以提高小麦对磷的吸收率，从而增加产量高达 20%^[11]。

在病害防治方面，微生物通过竞争、拮抗和诱导植物抗性等机制，能够有效抑制病原菌的生长和扩散。例如，生物农药中的拮抗细菌如枯草芽孢杆菌（*Bacillus subtilis*）和假单胞菌（*Pseudomonas* spp.）已被广泛应用于植物病害的生物防治。这些微生物能够产生抗生素和抗真菌化合物，如 2, 4-二乙酰基间苯三酚（2, 4-DAPG）和吡咯菌素（Pyoluteorin），这些化合物对多种植物病原菌具有抑制作用。此外，微生物还可以通过激发植物的系统获得性抗性（SAR）来增强植物对病害的抵抗力，从而减少化学农药的使用，实现可持续农业的发展。

微生物在植物生长促进和病害防治中的应用，不仅提高了作物的产量和质量，还减少了对环境的负面影响，符合生物技术工业可持续发展的趋势。然而，要实现微生物在农业中的广泛应用，还需克服筛选高效菌株、提高其稳定性和适应性等技术挑战。未来的研究应着重于深入理解微生物与植物相互作用的分子机制，以及开发新的微生物菌株改良策略，以期在生物技术工业中发挥更大的作用。

8 微生物在生物技术工业中的挑战与前景

8.1 微生物菌株的筛选与改良策略

在微生物菌株的筛选与改良策略中，科学家们利用高通量筛选技术，如基因组编辑和代谢工程，来识别和优化具有特定功能的微生物。例如，通过 CRISPR-Cas9 技术，研究人员可以精确地敲除或插入特定基因，从而创造出具有增强性能的菌株。在生物技术工业中，这种策略已被成功应用于提高抗生素产量和改善酶的催化效率。以青霉素生产为例，通过定向进化和基因重组技术，研究人员能够筛选出产量提高数倍的菌株，显著降低了生产成本并提

升了经济效益。

在环境生物技术领域，微生物菌株的改良策略同样至关重要。例如，针对特定污染物的降解菌株，通过基因工程手段增强其降解能力，可以更高效地处理废水和土壤污染。一项研究显示，通过引入外源基因，改良后的菌株对某些难降解有机物的降解效率提高了 30% 以上^[12]。此外，利用合成生物学原理，科学家们构建了能够同时进行多种代谢途径的微生物菌株，以实现复杂混合污染物的综合处理。

在食品工业中，微生物菌株的筛选与改良策略不仅关乎食品的风味和营养价值，还涉及到食品安全和质量控制。例如，乳酸菌作为发酵食品中的关键微生物，其改良策略包括提高其耐酸性和耐胆盐性，以确保在胃肠道中存活并发挥益生作用。一项研究通过定向进化技术，成功筛选出能够在极端 pH 条件下存活的乳酸菌菌株，为开发新型益生菌产品提供了可能^[13]。

微生物菌株的改良策略在农业生物技术中也扮演着重要角色。通过基因工程改良的微生物菌株，如固氮菌和解磷菌，能够更有效地促进植物生长和提高作物产量。例如，通过基因改造，研究人员增强了某些根瘤菌的固氮能力，使得它们在与豆科植物共生时能提供更多的氮素，从而减少了化肥的使用。这种改良菌株的应用不仅提高了农业生产的可持续性，还减少了对环境的负面影响^[14]。

然而，微生物菌株的筛选与改良策略也面临着伦理和可持续性的挑战。在追求技术进步的同时，科学家们必须确保这些改良菌株的安全性，避免对生态系统造成不可逆的损害。因此，建立严格的评估体系和监管机制，确保改良菌株在应用过程中的安全性和环境适应性，是微生物生物技术可持续发展的重要保障。

8.2 微生物生物技术的可持续发展与伦理考量

在微生物生物技术的可持续发展与伦理考量中，我们必须认识到，微生物作为生物技术的核心资源，其应用不仅推动了工业生产的革新，也带来了对环境和人类社会的深远影响。例如，微生物发酵技术在生产抗生素和生物燃料时，其效率和产量的提升往往伴随着能源消耗和废物排放的增加^[15]。因此，开发更加高效的微生物菌株，以及优化发酵过程以减少副产品和废物的产生，是实现可持续发展的关键。同时，伦理考量要求我们在利用微生物进行药

物开发时, 必须确保生物安全和生态平衡, 避免对自然环境和人类健康造成不可逆转的损害^[16]。人类活动对自然环境的影响是深远且复杂的, 我们必须在微生物生物技术的应用中, 审慎评估其长期影响, 确保技术进步不会以牺牲环境和伦理为代价。

参考文献

- [1] Lee, H. J., & Park, J. H. Engineering Microbial Systems for Sustainable Bioproduction: From Synthetic Biology to Industrial Biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 2022, 40(4), 372–383. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.11.005>.
- [2] Zhang Y, Yu J, Wu Y, et al. Efficient production of chemicals from microorganism by metabolic engineering and synthetic biology[J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2021, 30: 14-28.
- [3] Joshi S, Mishra S D. Recent advances in biofuel production through metabolic engineering[J]. *Bioresource technology*, 2022, 352: 127037.
- [4] Yang, J., & Li, Y. New Frontiers in Synthetic Biology for Industrial Microbial Strain Development. *Metabolic Engineering*, 2023, 68, 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2023.01.004>.
- [5] Liu, J., & Zhang, W. Fermentation Technology and Metabolic Engineering in Industrial Microbiology. *FEMS Microbiology Letters*, 2021, 368(17), fny187. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny187>.
- [6] Adebami G E, Kuila A, Ajunwa O M, et al. Genetics and metabolic engineering of yeast strains for efficient ethanol production[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2022, 45(7): e13798.
- [7] Yafetto L. Application of solid-state fermentation by microbial biotechnology for bioprocessing of agro-industrial wastes from 1970 to 2020: A review and bibliometric analysis[J]. *Heliyon*, 2022, 8(3).
- [8] *Industrial microbiology and biotechnology*[M]. Singapore:: Springer, 2022.
- [9] Singh, R., & Yadav, S. Recent Developments in Microbial Engineering for Biotechnological Applications: From Laboratory to Industry. *Microorganisms*, 2022, 10(6), 1230. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061230>.
- [10] 陈国强.合成生物学与"下一代工业生物技术"[C]//中国生物化学与分子生物学会 2020 全国学术在线会议.2020.
- [11] 励建荣,李婷婷,王当丰.微生物群体感应系统及其在现代食品工业中应用的研究进展[J].北京工商大学学报(自然科学版), 2020.DOI:10.3969/j.issn.2095-6002.2020.01.001.
- [12] 徐昭勇,胡海洋,许平,等.人工合成微生物组的构建与应用[J].合成生物学, 2021, 2(2): 181-193. DOI: 10.12211/2096-8280.2020-062.
- [13] 王晓虎,任照文,张翻,等.病原微生物入侵中枢神经系统机制的研究进展[J].广东农业科学, 2024, 51(6):1-12.DOI: 10.16768/j.issn.1004-874X.2024.06.001.
- [14] 孙韬,宋洁,董姗姗,等.合成微生物的环境风险防控与检测技术研究进展[J].环境科学研究, 2024, 37(10):2247-2259.DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.2024.07.16.
- [15] 张尧,王佳欣,温婵婵,等.微生物源蛋白酶和脂肪酶分类、特性及在食品工业中的应用进展[J].食品工业科技, 2024, 46(3):1-10. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306. 2024030017.
- [16] 姚槐应,朱永官,张丽梅,等.农业土壤氮素转化的微生物机制及高效利用技术与应用[J].中国科技成果, 2024, 25(19):15,22.DOI:10.3772/j.issn.1009-5659.2024.19.010.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS