

环境科学与技术应用系列丛书

# 环境微生物资源原理与应用

李铁民 马溪平 刘宏生 等编著



化学工业出版社  
环境科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境微生物资源原理与应用/李铁民, 马溪平, 刘宏生  
等编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 7

(环境科学与技术应用系列丛书)

ISBN 7-5025-7519-7

I. 环… II. ①李…②马…③刘… III. 环境科学:  
微生物学 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 088066 号

---

环境科学与技术应用系列丛书  
环境微生物资源原理与应用  
李铁民 马溪平 刘宏生 等编著  
责任编辑: 董琳 徐娟  
文字编辑: 荣世芳  
责任校对: 陈静 宋玮  
封面设计: 关飞

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心  
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)  
购书咨询: (010) 64982530  
(010) 64918013  
购书传真: (010) 64982630  
<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京云浩印刷有限责任公司印刷  
三河市延风装订厂装订  
开本 720mm×1000mm 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$  字数 431 千字  
2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-5025-7519-7  
定 价: 48.00 元

---

版权所有 违者必究  
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

---

进入 21 世纪，人类正面临着粮食危机、能源短缺、资源耗竭、生态恶化和人口剧增等困境。要解决这些问题，开发利用可再生资源已成为必然趋势。

微生物资源作为一类重要的可再生资源已得到人们的广泛关注。基于微生物资源的生理遗传特性、物种多样性、广泛的生态适应性以及物质转化能力强等特点，微生物资源在环境保护中得到了广泛应用，在某些应用领域已显示了巨大潜力，起到了不可替代的作用。随着现代生物技术日新月异地发展，微生物资源在环境保护中的应用日益向纵深发展，而且产业化程度也正在加快。所以，对于环境保护工作者来说，加强微生物学理论与应用知识显得越来越重要，而对于从事微生物研究的科技工作者来说，了解日益发展的环境保护应用领域将更有利于拓展其科学研究的范围和内容。为了加快促进环境微生物技术的发展，使近年来的研究成果系统化，我们编写了此书。

本书共分两篇。在基础篇中，主要介绍了环境微生物资源的基本原理；在应用篇中，重点介绍了微生物资源在生物修复、废水处理、固体废弃物处理、微生物资源的产业化以及废弃物资源化与能源化中的应用，现代生物技术的环境微生物资源开发利用中的应用，最后论述了环境微生物制剂与生态安全问题。

本书编写中的具体分工是：第 1 章和第 2 章由李铁民、刘宏生编写，第 3 章由李士怡、吴昊编写，第 4 章和第 5 章由李铁民、李士怡编写，第 6 章由马溪平、徐成斌、李清华编写，第 7 章由张玲、孙大鹏、马溪平编写，第 8 章由吴旭辉、孙大鹏编写，第 9 章由解宏端、马溪平编写，第 10 章由马溪平、张玲、吴昊编写，第 11 章由刘宏生、寇威编写，第 12 章由吴昊、吴旭辉编写，全书由李铁民统稿。

本书在编写过程中，得到了周大石教授的热情指导，也得到辽宁大学环境与生命科学学院全体教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

在本书编写过程中，对于某些成熟的理论和技术，有些直接取材于有关文献；对于处在研究阶段的最新成果，则主要依据原创性研究论文，并融进编者的观点。限于编者知识水平和资料占有的局限性，书中难免有不妥及疏漏之处，恳请读者批评指正，以使本书进一步完善。

编著者

2005 年 3 月

# 目 录

---

## 上篇 基础篇

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>1 微生物资源</b> .....          | 3  |
| 1.1 微生物资源的概念 .....            | 3  |
| 1.1.1 自然资源 .....              | 3  |
| 1.1.2 生物资源 .....              | 3  |
| 1.1.3 微生物资源 .....             | 3  |
| 1.2 微生物资源特性 .....             | 4  |
| 1.2.1 物种多样性 .....             | 4  |
| 1.2.2 代谢类型多样性 .....           | 5  |
| 1.2.3 生态系统多样性 .....           | 7  |
| 1.2.4 生活方式的多样性 .....          | 9  |
| 1.2.5 遗传多样性 .....             | 10 |
| 1.3 微生物资源的重点研究领域 .....        | 11 |
| 1.3.1 寻找发现新菌种 .....           | 11 |
| 1.3.2 利用现代生物技术改造菌种 .....      | 12 |
| 1.3.3 发展完善各种微生物环境保护应用技术 ..... | 12 |
| 1.3.4 微生物制剂的产业化 .....         | 12 |
| 1.3.5 极端微生物研究 .....           | 13 |
| 1.3.6 微生物分子生态学研究 .....        | 13 |
| <b>2 微生物资源与环境</b> .....       | 14 |
| 2.1 自然环境系统中的微生物资源 .....       | 14 |
| 2.1.1 微生物资源与物质循环之间的关系 .....   | 14 |
| 2.1.2 微生物资源与生物环境之间的关系 .....   | 19 |
| 2.1.3 微生物资源与自然资源形成之间的关系 ..... | 24 |
| 2.2 微生物资源的应用 .....            | 26 |
| 2.2.1 微生物资源与环境监测 .....        | 26 |
| 2.2.2 微生物资源与污染预防和污染治理 .....   | 27 |
| 2.2.3 微生物资源与物质的综合利用 .....     | 28 |
| 2.3 极端环境微生物资源 .....           | 28 |
| 2.3.1 嗜盐微生物 .....             | 28 |

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 2.3.2 | 嗜酸微生物              | 29 |
| 2.3.3 | 嗜碱微生物              | 30 |
| 2.3.4 | 嗜热微生物              | 31 |
| 2.3.5 | 嗜低温微生物             | 31 |
| 2.3.6 | 其他极端微生物            | 31 |
| 3     | 微生物对污染物的降解和转化      | 33 |
| 3.1   | 微生物的营养             | 33 |
| 3.1.1 | 微生物营养的需求           | 33 |
| 3.1.2 | 微生物营养类型            | 34 |
| 3.1.3 | 微生物营养物质进入方式        | 35 |
| 3.1.4 | 微生物胞外物质的利用         | 37 |
| 3.2   | 微生物代谢              | 38 |
| 3.2.1 | 微生物代谢类型            | 38 |
| 3.2.2 | 微生物代谢调节            | 39 |
| 3.3   | 降解污染物的微生物          | 43 |
| 3.3.1 | 土著微生物              | 43 |
| 3.3.2 | 外来微生物              | 43 |
| 3.3.3 | 基因工程菌              | 44 |
| 3.4   | 微生物对污染物的降解作用       | 45 |
| 3.4.1 | 微生物对污染物降解的特点       | 45 |
| 3.4.2 | 共代谢作用              | 45 |
| 3.4.3 | 微生物的去毒作用           | 46 |
| 3.4.4 | 微生物的激活作用           | 47 |
| 3.5   | 影响微生物降解污染物质的因素     | 48 |
| 3.5.1 | 微生物的代谢活性对污染物质降解的影响 | 48 |
| 3.5.2 | 微生物的适应性            | 48 |
| 3.5.3 | 污染物种类对降解性的影响       | 48 |
| 3.5.4 | 污染物化学结构对降解性的影响     | 48 |
| 3.5.5 | 环境因素对降解性能影响        | 49 |
| 3.6   | 微生物对有机污染物的生物降解     | 50 |
| 3.6.1 | 烷烃和烯烃类化合物的生物降解     | 50 |
| 3.6.2 | 芳香族化合物的生物降解        | 51 |
| 3.6.3 | 卤代脂肪烃的生物降解         | 52 |
| 3.6.4 | 卤代芳烃的生物降解          | 52 |
| 3.6.5 | 农药的生物降解            | 53 |
| 3.6.6 | 合成洗涤剂的生物降解         | 54 |

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 3.6.7 | 塑料的生物降解 .....               | 54 |
| 3.7   | 微生物对重金属的生物转化 .....          | 55 |
| 3.7.1 | 汞的生物转化 .....                | 55 |
| 3.7.2 | 砷的生物转化 .....                | 55 |
| 3.7.3 | 硒的生物转化 .....                | 56 |
| 3.7.4 | 其他重金属的生物转化 .....            | 56 |
| 3.7.5 | 微生物对重金属的生物转化在污染控制中的应用 ..... | 57 |
| 4     | 微生物资源研究基本方法 .....           | 58 |
| 4.1   | 单一菌种分离鉴定 .....              | 58 |
| 4.1.1 | 样品采集 .....                  | 58 |
| 4.1.2 | 富集培养 .....                  | 59 |
| 4.1.3 | 纯化分离 .....                  | 61 |
| 4.1.4 | 菌种鉴定 .....                  | 61 |
| 4.2   | 混合菌群的培养 .....               | 62 |
| 4.2.1 | 活性污泥的培养和驯化 .....            | 62 |
| 4.2.2 | 活性污泥培养和驯化过程中生物相的变化 .....    | 64 |
| 4.2.3 | 生物膜培养与挂膜 .....              | 64 |
| 4.2.4 | 厌氧颗粒污泥的培养 .....             | 65 |
| 4.3   | 群落微生物分析方法 .....             | 66 |
| 4.3.1 | 核酸分子杂交技术 .....              | 67 |
| 4.3.2 | 基于 PCR 扩增技术的研究方法 .....      | 68 |
| 4.3.3 | rRNA 基因同源分析方法 .....         | 70 |
| 4.3.4 | 梯度电泳技术 .....                | 70 |
| 4.3.5 | 生物醞技术 .....                 | 71 |
| 4.4   | 微生物菌群构建 .....               | 72 |
| 4.4.1 | 微生物菌群构建的意义 .....            | 72 |
| 4.4.2 | 微生物菌群构建原理 .....             | 73 |
| 4.4.3 | 微生物菌群构建原则 .....             | 75 |
| 4.4.4 | 微生物菌群构造现状 .....             | 75 |
| 5     | 微生物资源的保护和保藏 .....           | 78 |
| 5.1   | 微生物资源保护 .....               | 78 |
| 5.1.1 | 微生物资源与人类生态系统 .....          | 78 |
| 5.1.2 | 微生物资源保护的重要性 .....           | 80 |
| 5.1.3 | 微生物资源保护策略 .....             | 81 |
| 5.2   | 微生物物种资源的保藏 .....            | 82 |
| 5.2.1 | 概述 .....                    | 82 |

|       |                  |    |
|-------|------------------|----|
| 5.2.2 | 菌种保藏的原理和方法 ..... | 83 |
| 5.2.3 | 保藏方法的研究方向 .....  | 85 |
| 5.2.4 | 保藏机构及其组织 .....   | 86 |

## 下篇 应用篇

|          |                         |            |
|----------|-------------------------|------------|
| <b>6</b> | <b>微生物资源与生物修复 .....</b> | <b>89</b>  |
| 6.1      | 生物修复 .....              | 89         |
| 6.1.1    | 生物修复的概念及其产生与发展 .....    | 89         |
| 6.1.2    | 生物修复的基本原理与类型 .....      | 89         |
| 6.1.3    | 生物修复的应用与进展 .....        | 91         |
| 6.2      | 重金属污染的微生物修复 .....       | 94         |
| 6.2.1    | 重金属污染的来源 .....          | 94         |
| 6.2.2    | 重金属在环境中的迁移转化及危害 .....   | 95         |
| 6.2.3    | 重金属污染的微生物修复机理 .....     | 96         |
| 6.2.4    | 几种重金属污染的微生物修复 .....     | 99         |
| 6.3      | 石油污染的微生物修复 .....        | 102        |
| 6.3.1    | 石油污染的来源和种类 .....        | 102        |
| 6.3.2    | 石油污染物在环境中的迁移及其危害 .....  | 103        |
| 6.3.3    | 降解石油污染物的微生物 .....       | 104        |
| 6.3.4    | 石油污染的微生物修复机理 .....      | 107        |
| 6.3.5    | 石油污染的微生物修复及应用 .....     | 109        |
| 6.4      | 化学农药污染的微生物修复 .....      | 111        |
| 6.4.1    | 化学农药的种类 .....           | 111        |
| 6.4.2    | 化学农药在环境中的迁移及其危害 .....   | 111        |
| 6.4.3    | 降解化学农药污染物的微生物 .....     | 113        |
| 6.4.4    | 化学农药污染的微生物修复机理 .....    | 115        |
| 6.4.5    | 化学农药污染的微生物修复实例 .....    | 118        |
| 6.5      | 结语 .....                | 119        |
| <b>7</b> | <b>微生物资源与水处理 .....</b>  | <b>121</b> |
| 7.1      | 概论 .....                | 121        |
| 7.2      | 厌氧微生物处理污水 .....         | 121        |
| 7.2.1    | 厌氧微生物处理的产生与发展 .....     | 122        |
| 7.2.2    | 厌氧微生物处理的基本原理 .....      | 122        |
| 7.2.3    | 厌氧微生物处理的特点 .....        | 124        |
| 7.2.4    | 厌氧微生物处理工艺 .....         | 125        |
| 7.3      | 好氧活性污泥法 .....           | 134        |

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 7.3.1 | 好氧活性污泥法的原理       | 134 |
| 7.3.2 | 活性污泥法处理污水的过程     | 134 |
| 7.3.3 | 好氧活性污泥中的微生物      | 135 |
| 7.3.4 | 活性污泥中微生物的作用      | 136 |
| 7.3.5 | 好氧活性污泥的培养驯化      | 137 |
| 7.3.6 | 培养驯化过程中生物相的变化规律  | 138 |
| 7.3.7 | 引起污泥膨胀的原因        | 139 |
| 7.3.8 | 活性污泥膨胀的抑制对策      | 139 |
| 7.3.9 | 好氧活性污泥处理污水的工艺    | 140 |
| 7.4   | 好氧生物膜法           | 142 |
| 7.4.1 | 生物膜微生物           | 142 |
| 7.4.2 | 生物膜的结构与净化原理      | 145 |
| 7.4.3 | 生物膜的培养           | 146 |
| 7.4.4 | 生物膜反应器           | 146 |
| 7.5   | 氧化塘              | 149 |
| 7.5.1 | 氧化塘中的微生物         | 150 |
| 7.5.2 | 利用藻类处理污水         | 150 |
| 7.6   | 污水深度处理           | 152 |
| 7.6.1 | 脱氮微生物            | 152 |
| 7.6.2 | 生物脱氮过程           | 154 |
| 7.6.3 | 聚磷菌              | 154 |
| 7.6.4 | 微生物脱氮除磷工艺        | 155 |
| 7.7   | 微污染源水处理技术        | 158 |
| 7.7.1 | 深度处理技术           | 158 |
| 7.7.2 | 生物预处理技术          | 160 |
| 8     | 微生物资源与固体废弃物处理    | 162 |
| 8.1   | 微生物处理生活有机垃圾      | 162 |
| 8.1.1 | 概述               | 162 |
| 8.1.2 | 生活有机垃圾的堆肥化处理     | 163 |
| 8.1.3 | 生活有机垃圾的产沼处理      | 167 |
| 8.1.4 | 生活有机垃圾中的废纤维素糖化处理 | 170 |
| 8.1.5 | 生活有机垃圾的饲料化       | 171 |
| 8.2   | 微生物处理垃圾渗滤液       | 171 |
| 8.2.1 | 概述               | 171 |
| 8.2.2 | 垃圾渗滤液的好氧处理       | 173 |
| 8.2.3 | 垃圾渗滤液的厌氧处理       | 175 |

|           |                             |            |
|-----------|-----------------------------|------------|
| 8.2.4     | 垃圾渗滤液的好氧-厌氧联合处理 .....       | 177        |
| 8.2.5     | 垃圾渗滤液的土地处理 .....            | 179        |
| 8.3       | 微生物处理处置污泥 .....             | 179        |
| 8.3.1     | 概述 .....                    | 179        |
| 8.3.2     | 污泥堆肥处理 .....                | 180        |
| 8.3.3     | 污泥消化 .....                  | 185        |
| 8.3.4     | 污泥微生物处理的新工艺 .....           | 192        |
| <b>9</b>  | <b>微生物资源的产业化</b> .....      | <b>193</b> |
| 9.1       | 有效微生物群 .....                | 193        |
| 9.1.1     | 有效微生物群的定义 .....             | 193        |
| 9.1.2     | 有效微生物群的特点 .....             | 193        |
| 9.1.3     | 有效微生物群的作用机理 .....           | 194        |
| 9.1.4     | 有效微生物群的组成 .....             | 194        |
| 9.1.5     | 有效微生物群在环境治理中的应用效果 .....     | 194        |
| 9.1.6     | 有效微生物群技术在种植业中的应用 .....      | 195        |
| 9.1.7     | 有效微生物群技术在养殖业中的应用 .....      | 196        |
| 9.2       | 微生物絮凝剂 .....                | 198        |
| 9.2.1     | 无机絮凝剂和合成有机絮凝剂的发展和应用现状 ..... | 199        |
| 9.2.2     | 合成有机高分子絮凝剂 .....            | 199        |
| 9.2.3     | 微生物絮凝剂及其特点 .....            | 200        |
| 9.2.4     | 微生物絮凝剂的成分分析 .....           | 200        |
| 9.2.5     | 微生物絮凝剂在水处理中的应用 .....        | 201        |
| 9.2.6     | 开发微生物絮凝剂的关键 .....           | 203        |
| 9.3       | 微生物肥料 .....                 | 204        |
| 9.3.1     | 微生物肥料的定义 .....              | 204        |
| 9.3.2     | 微生物肥料的特点和优点 .....           | 204        |
| 9.3.3     | 我国微生物肥料开发利用的现状与问题 .....     | 205        |
| 9.3.4     | 微生物肥料的分类和应用 .....           | 205        |
| 9.3.5     | 微生物肥料的应用效果 .....            | 207        |
| 9.3.6     | 微生物肥料的开发和生产过程 .....         | 208        |
| 9.3.7     | 微生物肥料应用应注意的问题 .....         | 208        |
| 9.3.8     | 微生物肥料对保护生态环境的作用和意义 .....    | 209        |
| 9.3.9     | 微生物肥料的发展前景 .....            | 210        |
| <b>10</b> | <b>微生物资源与资源化和能源化</b> .....  | <b>212</b> |
| 10.1      | 中水回用 .....                  | 212        |
| 10.1.1    | 中水回用概述 .....                | 212        |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 10.1.2 | 采用生物法的中水回用技术 .....        | 213 |
| 10.1.3 | 膜生物反应器在中水回用中的应用 .....     | 217 |
| 10.2   | 微生物制取沼气 .....             | 220 |
| 10.2.1 | 沼气发酵概述 .....              | 220 |
| 10.2.2 | 沼气发酵的机理（过程） .....         | 221 |
| 10.2.3 | 沼气发酵微生物 .....             | 222 |
| 10.2.4 | 沼气发酵的影响因素 .....           | 225 |
| 10.2.5 | 沼气发酵的启动和运行 .....          | 228 |
| 10.2.6 | 沼气发酵技术的应用 .....           | 230 |
| 10.3   | 有机废弃物生产燃料乙醇 .....         | 232 |
| 10.3.1 | 有机废弃物生产燃料乙醇的概况 .....      | 232 |
| 10.3.2 | 有机废弃物生产燃料乙醇的原理 .....      | 234 |
| 10.3.3 | 有机废弃物生产燃料乙醇的工艺 .....      | 235 |
| 10.3.4 | 有机废弃物生产燃料乙醇的发酵方法 .....    | 237 |
| 10.3.5 | 影响乙醇产率的因素 .....           | 239 |
| 10.3.6 | 存在问题与发展前景 .....           | 240 |
| 10.4   | 生物制氢 .....                | 241 |
| 10.4.1 | 生物制氢概述 .....              | 241 |
| 10.4.2 | 光合作用制氢 .....              | 242 |
| 10.4.3 | 发酵制氢技术研究现状 .....          | 246 |
| 10.4.4 | 发酵法生物制氢机理 .....           | 248 |
| 10.4.5 | 影响微生物产氢发酵的因素 .....        | 251 |
| 10.4.6 | 生物制氢技术的应用及前景 .....        | 254 |
| 11     | 现代生物技术与微生物资源开发利用 .....    | 256 |
| 11.1   | 基因工程与微生物资源的开发利用 .....     | 256 |
| 11.1.1 | 基因工程分子生物学基础 .....         | 256 |
| 11.1.2 | 克隆子的筛选和鉴定 .....           | 263 |
| 11.1.3 | 分子生物学技术在微生物监测评价中的应用 ..... | 265 |
| 11.1.4 | 基因工程技术在污染治理中的应用 .....     | 269 |
| 11.2   | 细胞工程与微生物资源的开发利用 .....     | 271 |
| 11.2.1 | 概述 .....                  | 271 |
| 11.2.2 | 微生物细胞工程 .....             | 273 |
| 11.2.3 | 细胞工程技术在污染治理中的应用 .....     | 274 |
| 11.3   | 酶工程与微生物资源的开发利用 .....      | 275 |
| 11.3.1 | 酶的发酵生产及分离纯化 .....         | 276 |
| 11.3.2 | 酶分子的改造 .....              | 282 |

|        |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 11.3.3 | 固定化技术及酶反应器 .....          | 284 |
| 11.3.4 | 生物传感器 .....               | 289 |
| 11.4   | 发酵工程与微生物资源的开发利用 .....     | 293 |
| 11.4.1 | 概述 .....                  | 293 |
| 11.4.2 | 微生物发酵过程 .....             | 293 |
| 11.4.3 | 发酵的操作方式 .....             | 296 |
| 11.4.4 | 发酵工程在净化处理环境污染中的应用 .....   | 298 |
| 12     | 微生物制剂与生态安全 .....          | 302 |
| 12.1   | 生物制剂安全评价 .....            | 302 |
| 12.1.1 | 生物安全评价的意义 .....           | 302 |
| 12.1.2 | 评价原则 .....                | 303 |
| 12.1.3 | 评价内容 .....                | 303 |
| 12.1.4 | 评价方法 .....                | 304 |
| 12.1.5 | 转基因食品安全性评价中应注意的问题 .....   | 306 |
| 12.2   | 开放环境中使用微生物制剂的生物安全问题 ..... | 306 |
| 12.3   | 基因工程微生物的生态安全问题 .....      | 307 |
| 12.3.1 | 基因工程微生物的应用 .....          | 307 |
| 12.3.2 | 基因工程微生物的潜在危害 .....        | 307 |
| 12.3.3 | 影响基因工程微生物对生态安全危害的因素 ..... | 309 |
| 12.3.4 | 解决方法 .....                | 310 |
|        | 参考文献 .....                | 313 |

上 篇  
基 础 篇

# 微生物资源

## 1.1 微生物资源的概念

### 1.1.1 自然资源

自然资源按其生物属性可分为生物资源和非生物资源。生物资源是指可为人类所利用的生物，包括动物资源、植物资源和微生物资源。非生物资源是指客观存在的有助于改善人类生活与生存条件的物质、能量和信息，如矿物、水、土地、大气、风能、太阳能、潮汐能，以及人类生活中、生产上、精神上的各种信息等。

人类为了生存和发展，必须从自然界中索取资源以供自身利用。因此，人类的发展与人类对自然资源的开发利用是分不开的。人类社会进入工业化时代以来，加之人口不断增长，对自然资源索取的规模越来越大，自然资源正以惊人的速度逐渐耗竭，人类社会面临着粮食危机、能源资源匮乏和环境资源恶化等诸多严重问题。如何解决资源紧缺的问题是摆在我们面前的重大课题。

### 1.1.2 生物资源

生物资源是自然资源中的第一性资源，是人类赖以生存的最基本的物质基础。然而，由于人类活动的加剧，引起了全球环境的迅速变化，也威胁着人类的生存及其他生物种群的衰亡。据统计，在过去的 2 亿年中平均每 27 年就有一种植物物种从地球上消失，每 100 年就有 90 种脊椎动物灭绝。由于人类的干预，使物种的灭绝速度比自然灭绝快 1000 倍，因而最大限度地保护生物多样性已成为国际社会关注的热点。

1992 年在联合国环境和发展大会上，包括中国在内的 153 个国家签署了《生物多样性公约》，该公约明确指出：“生物资源是指对人类具有实际或潜在用途或价值的遗传资源、生物体或其部分、生物群体或生态系统中任何其他生物组成部分。”由此可以在三个层次上来认识生物资源，即基因资源、物种资源和生态系统资源。

人类离开生物资源便不能生存，没有了生物资源，其他任何非生物资源都将失去存在的意义。因此，必须正确认识利用和保护之间的关系，在维持一定种群数量的基础上，合理开发利用生物资源，为人类创造巨大的经济效益和社会效益，实现可持续性发展。

### 1.1.3 微生物资源

在生物资源中，微生物资源具有独特的生理代谢特点，决定了它在解决人类面临

的资源危机中的重要作用。微生物具有个体微小、繁殖快、分布广、代谢类型多等生物学特性。其表面积与体积之比是人体的 30 万倍，这一典型的小体积、大表面积的特点十分有利于微生物与周围环境的物质交换和能量、信息传递，使得微生物代谢活力强，在资源再生转化中其效率远远大于动物，有利于在短时间内把大量基质转化为有用产品，并有利于实现工业化生产。据统计，每年由微生物向全球药业市场提供的原材料就有 500 亿美元。凡是动植物能利用的，微生物都可利用，而动植物不能利用的甚至是剧毒物质，微生物也可利用，并能将有害物质转变为无害物质。

微生物资源的开发利用已涉及工业、农业、林业、医药、环境保护等各个领域，显示了强大的应用潜力，在国民经济发展中具有重要的战略地位，具体表现如下。①在生命科学中具有前沿地位，因为生命活动的基本规律，大多数是在研究微生物的过程中首先被阐明；微生物的多样性为人类了解生命起源和生物进化提供了依据。②对社会生产力发展具有重要意义。当今微生物生产已与动植物生产并列成为生物产业三大支柱之一。据粗略估计，全世界目前微生物产业的年产值达 2000 亿美元，日本发酵行业的年产值与电气和电子行业相当。当前，微生物学的基础研究成果向实际应用的趋势正在加强，速度正在加快，应用途径也正在拓宽。③在生物技术领域中具有特殊作用。作为基因工程的外源 DNA 载体，不是微生物本身（如噬菌体、病毒），就是微生物细胞中的质粒；基因操作中被用作切割与缝合基因的数千种工具酶，绝大多数来自不同的微生物；当今已经大量生产的遗传工程产品，大多数是以微生物作为基因工程受体。微生物在兴起的生物技术产业中，为人类创造了巨大财富。

然而，由于微生物的微观性，尤其原核微生物简单的单细胞结构、繁殖快、无准确的基线用于统计等原因，对于它们的生物多样性的研究远没有宏观生物那样受到重视。尽管人类对生态环境的破坏似乎未造成它们种群灭绝的危险，但宿主的失去也导致了某些微生物种群的消失和演替。已知有 80% 的真菌种群处于濒危状态，一些处于特殊生境的真菌种群已被其他种群取代。因而对微生物资源的保护，是整个生物圈和生态圈保护中不可缺少的内容。

如果说 21 世纪是生命科学的“朝阳科学”阶段，那么微生物学则可认为是一门“晨曦科学”。因为根据多种估计，目前已记载的微生物，大约只有地球上存量的 50% 左右。如果说微生物是个“富矿”的话，那么对微生物资源的开发目前还只是个“刚剥去一层表土的富矿”。所以，微生物资源是一个重要的资源库，开发潜力巨大，应用前景广阔。

## 1.2 微生物资源特性

### 1.2.1 物种多样性

生物多样性 (biodiversity) 是指生物之间的多样化和变异性及物种生境的生态复杂性。可以表述为物种多样性、遗传 (基因) 多样性和生态多样性三个层次。在生物

多样性中物种的多样性是最基本的内容，掌握现存物种数及其分布状况是评价生物多样性的基础。

生物多样性中评价的对象包括动物、植物和微生物。然而，“微生物”不是系统学或分类学上的科学名词，仅是为了区别动植物和叙述的方便，将原核生物中的细菌、放线菌、无细胞结构的病毒，以及真核生物中的真菌统称为微生物。到目前为止，人们对微生物物种的认识还十分有限，特别是由于研究手段的限制，许多微生物的种群仍不能分离培养，因此，建立在培养手段上的多样性估计对单细胞的原核微生物研究尤为困难。根据全球不完全统计得知（阎章才，东秀珠；2001），已描述的真菌种有 69000 个，占全部的 5%；已描述的细菌种有 4760 个，占全部的 12%；已描述的病毒种有 5000 个，占全部的 4%；高等动植物的种群基本全部描述记载，其中高等植物为 250000，昆虫为 1000 万~6000 万，而微生物和无脊椎动物的已描述种群最少。然而，根据在原位、无培养的微生物系统发育学研究，认为自然界中 90%~95% 的微生物种群未被分离培养和描述，因而推算地球上仅细菌应有 10 万~50 万种。显然微生物王国存在着庞大的物种多样性。

### 1.2.2 代谢类型多样性

微生物对营养基质的利用（也即物质代谢）包括同化和异化两个方面。同化是指来自基质的营养物质被固定入微生物体内，成为菌体细胞结构的一部分；异化是指营养基质中结构复杂的有机物质在微生物的分解作用下转化成简单的物质，在这一过程中释放出能量，供微生物利用。另一方面，在营养物质的代谢过程中，伴随着复杂的物质转化过程，从而形成各种代谢产物。

#### 1.2.2.1 同化代谢（物质合成）

微生物从体外吸收分子结构简单的营养物质和元素，在细胞内合成各种各样的有机物质，构成细胞成分，满足其个体生长发育的需要。微生物合成的细胞结构物质主要有：碳水化合物、脂类、氨基酸、多肽和蛋白质，以及核苷酸和核酸。

微生物代谢中，除合成上述物质以构成其细胞体外，也生成一些分子结构比较复杂，独立于细胞结构之外的物质，它们存在于细胞液或细胞质中，或分泌到细胞外而在环境中积累起来。这类物质称为微生物的次生代谢物。次生代谢物中有很多具有经济价值的物质，如抗生素、生长激素及色素等。

微生物积累次生代谢物的种类和数量，取决于它们的代谢机能和所进行的代谢途径。次生代谢物质并不参与构成微生物的细胞体，也不参与酶的催化作用，而且它们多在微生物生长后期积累较多。一般认为，次生代谢物的积累，使正常代谢途径不够畅通，从而增强了某些支路代谢的结果。菌种的遗传变异和环境条件的变化往往能引起或增强支路代谢，促进次生代谢物的产生。

#### 1.2.2.2 异化代谢（物质分解）

微生物的异化代谢是自然界有机物质转化成无机物质的基础，在自然生态系统的物质循环中具有十分重要的意义。几百万年来，尽管绿色植物利用  $\text{CO}_2$  合成了大量

的有机物质，但除了仅有少部分能在与大气完全隔绝的条件下以高度还原的碳化物（煤、石油、天然气等）形式积累起来外，在地球表面根本没有形成令人瞩目的有机物质积累。这是因为自然界中几乎所有由生物合成的有机化合物都可在有氧条件下被微生物降解。从对物质的降解能力上看，微生物的生物化学活性几乎是万能的。

在自然界中，绿色植物和少数无机营养型微生物利用光能或化学能，将  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  合成碳水化合物，碳水化合物再与 N、P、S 等无机元素结合，生成各种有机物质。微生物在生命活动中利用各种有机物作为生长发育的养料，最终将它们分解成无机化合物。正是由于微生物的这种分解活动，才使得地球上数量有限的 C 元素、N 元素以及各种矿质元素能够周而复始地得到循环利用。

微生物对自然界各种有机物的分解中，较为重要的是对不含氮有机物中的纤维素、半纤维素、木质素、淀粉、果胶物质等的分解，以及对含氮有机物中的蛋白质、甲壳质和尿素的分解。

### 1.2.2.3 初生代谢和次生代谢

根据各种代谢产物对生命活动重要性的不同，可以把物质代谢分为初生代谢和次生代谢。生物体内维持生命活动所必不可少的代谢（主要是同产能有关的代谢）称为初生代谢（也称为主流代谢），在初生代谢过程中形成的产物称为初生代谢产物。例如，三羧酸循环是绝大多数微生物（以及所有高等动植物）获得能量所必需的初生代谢，该代谢过程中形成的有机酸如苹果酸、延胡索酸等是初生代谢产物。初生代谢产物多为结构简单的小分子化合物（主要有氨基酸、核苷酸以及有机酸），是组成细胞大分子（蛋白质、核酸、多糖和类脂）及各种辅酶的基本原料。从工业观点来看，重要的微生物初生代谢产物是氨基酸、核苷酸和维生素。同生物体维持生命活动无关或关系不大，往往只在某些特定条件下才进行的代谢称为次生代谢，其最终产物为次生代谢产物。某些放线菌的代谢过程中，由三羧酸循环形成的乙酰辅酶 A（到此为止属初生代谢）可以转化成多聚乙酰，然后再经一系列步骤合成出四环素类抗生素。这一合成抗生素的过程并不是放线菌维持生命活动所必需的代谢，因而属于次生代谢，合成出的抗生素就是一种次生代谢产物。次生代谢产物的分子结构一般比较复杂。各种次生代谢产物通常具有微生物种类的专化性，常不具备共通性的生理功能（即不是所有微生物生长都必需的），对产生菌本身的效用一般也不十分清楚。但是，许多微生物的次生产物却常常对其他生物（包括微生物）产生效应，如能杀菌或抑菌的抗生素，可影响动植物生长的激素和毒素等。在微生物的次生代谢产物中，有很多具有经济价值。掌握了微生物代谢的规律，就可以使其定向合成人们所希望的代谢产物，或以生物转化代替化学合成来生产有用的代谢产品。

### 1.2.2.4 微生物代谢的人工控制

微生物的代谢具有很大的灵活性。高等植物和动物代谢中的酶系是相当不灵活的，很难应付环境条件的较大变化，而微生物的代谢灵活性是极强的，因而对环境具

有更大的适应性。一个细菌细胞仅具有约 10 万个蛋白质分子所能容纳的空间，所以暂时用不着的酶是无法储备的，它们常常只在遇到合适的基质时才被诱导而临时形成。微生物这类可诱导酶数量较多，说明微生物细胞中代谢调节机构起着重大作用。

在正常生理条件下，微生物依靠其代谢调节系统，总是趋向于平衡地吸收利用营养物质组成其细胞结构，快速地进行生长和繁殖。它们通常不浪费原料和能量，也不积累中间代谢产物。但是在工业生产上，人们的要求常常和微生物正常代谢的情况相反，总是希望微生物能大量地积累某些对人类有用的代谢产物和酶类，这就需进行人工调控。

从应用角度看，控制微生物代谢的目的不外乎以下几种：①积累低分子代谢产物（抗生素、有机酸等）；②生产特异性生物大分子（酶等）；③获得微生物菌体；④分解和转化工农业废弃物。在生产实践上，为了增强微生物的代谢活性，或打破微生物的某些正常代谢系统而使之积累有用产物，主要手段是选种、育种和控制微生物培养时的环境条件。通过人工控制来提高微生物代谢产物的产量所取得的显著成效，已经在抗生素发酵工业上得到了证明。例如，通过对青霉菌的代谢控制，使 20 世纪 80 年代青霉素的单位产量（mg/L 发酵液）比 40 年代提高了数千倍。

微生物是物质循环中的分解代谢类群，代谢类型的多样性也表现在物质的分解代谢上，但其中也不乏合成代谢的类群。代谢所利用的能量有光能也有化学能；代谢中产生的电子受体可以是有机物也可以为无机物；代谢的环境可以有氧也可无氧，因而出现了如表 1-1 的各种代谢类型。

表 1-1 细菌的营养代谢类型及代表

| 营养代谢类型 | 好 氧    |      | 厌 氧  |      |
|--------|--------|------|------|------|
|        | 无机营养   | 有机营养 | 无机营养 | 有机营养 |
| 光能营养   | 蓝绿细菌   | 无    | 绿硫杆菌 | 红细菌  |
| 化能营养   | 亚硝化单胞菌 | 假单胞菌 | 硫小杆菌 | 梭菌   |

除此之外，同一种微生物还会因环境的变化而改变代谢类型，如紫色硫细菌在白天利用光合作用获得能量，并氧化  $H_2S$  为元素 S，还原  $CO_2$  为储存物质糖原；而在夜晚或阴天时进行化能营养，氧化糖原产生乙酸。

自养营养是细菌特有的生活类型，哪怕是地球上主要的基础生产者——植物的叶绿体也是起源于蓝细菌。但目前对细菌的自养营养方式人们也只肤浅地了解固氮作用和  $CO_2$  固定作用，而对铁、氢及硫代谢了解甚少。

所有自然的或生物合成的物质最终都由微生物降解，包括纤维素、半纤维素、木质素、难降解的卤素苯环化合物等对于其他生物来说是营养极限的物质。

### 1.2.3 生态系统多样性

地球上每一角落都是不同的微生物生态系统（即使在很小的范围也可能存在多个微生物生态系统）。若按大环境的不同，主要的微生物生态系统类型介绍如下。