



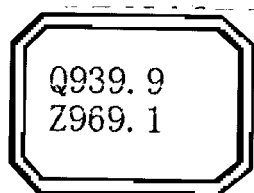
ZIYUAN WEISHENGWU

资源微生物

■ 邹 莉 编著



东北林业大学出版社



资源微生物

邹莉 编著

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

资源微生物/邹莉编著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005.7

ISBN 7-81076-752-6

I. 资… II. 邹… III. 微生物学 IV. Q93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 073616 号

责任编辑: 倪乃华

封面设计: 彭 宇



NEFUP

资源微生物

Ziyuan Weishengwu

邹莉 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印装

开本 960 × 787 1/16 印张 14.25 字数 248 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—2 000 册

ISBN 7-81076-752-6

Q·117 定价: 24.00 元

前 言

人类进入 20 世纪中期以来,随着人口的急剧增长、生活方式的日趋现代化,对自然资源的索取量不断扩大,物质能量消耗不断增加,自然资源不足的压力日益增大。如何合理地充分利用和开发自然资源,成为人类亟待解决的重要问题。

自然资源可划分为可再生资源和非可再生资源。可再生资源包括生物资源和非生物资源。生物资源由动物资源、植物资源和微生物资源构成,是生态系统中有生命的部分,是自然生态系统的主体。非生物资源由土地资源、水资源、气候资源、太阳能、风能、潮汐能等构成,是自然生态系统中无生命的部分,主要借助于生态系统的物质循环和能量转化而不断更新,且保持一定的储量。

作为生物资源的重要组成部分——微生物资源,它拥有其他生物资源所不具备的生态学和经济学意义。人类现在广泛利用的资源微生物种类很多,随着科学技术的进步和人类社会的不断发展,更多的资源微生物将被发现,资源微生物的新用途将不断拓宽,人类对资源微生物的利用将越来越广泛。

本教材是编著者在多年的教学和科研中不断总结经验,同时参阅了国内外重要的相关资料编写的。全书共分 7 章,介绍了微生物学基础、食用菌资源、微生物肥料、微生物饲料、微生物能源、微生物农药及资源微生物对环境的净化作用。微生物资源的利用同工业、农业、林业、医药、环境保护等领域的关系十分密切,本书侧重于介绍同农林业相关的资源微生物,并对与环境净化有关的方面做了适当兼顾。

本教材由东北林业大学出版基金资助出版,在编写过程中,得到东北林业大学林学院、出版社同志的热情关心与支持,在此,向为本教材的出版付出了艰辛劳动的各位表示由衷的谢意。

本教材可作为大专院校生物专业、环境工程专业及农、林院校开设资源微生物学的教学用书,也可作为有关科研人员的参考书。

限于作者的水平,本教材错漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者
2005.2

目 录

0 绪 论	(1)
0.1 资源微生物的概念	(1)
0.2 资源微生物与人类的关系	(5)
0.3 资源微生物开发利用简史	(6)
0.4 资源微生物学研究的内容与任务	(8)
1 微生物学基础	(9)
1.1 微生物的主要类群及特点	(9)
1.2 微生物的培养和生长	(23)
1.3 微生物的生态	(39)
1.4 微生物的遗传变异和育种	(44)
2 食用菌资源	(58)
2.1 食用菌的形态	(59)
2.2 食药食用菌的主要类群及其生态分布	(75)
2.3 食用菌的生理及影响因素	(86)
2.4 食用菌的良种选育技术	(94)
2.5 食用菌菌种生产	(103)
2.6 香菇栽培	(112)
2.7 木耳栽培	(117)
3 微生物肥料	(122)
3.1 微生物肥料概述	(122)
3.2 细菌肥料	(125)
3.3 5406 抗生素肥料	(133)
3.4 菌根菌肥料	(134)
3.5 复合微生物菌肥	(144)
4 微生物饲料	(146)
4.1 微生物饲料概述	(146)
4.2 微生物饲料的菌种和原料	(147)
4.3 生物蛋白饲料	(149)
4.4 微贮和青贮饲料	(154)

4.5	微生物饲料添加剂	(158)
5	微生物能源	(163)
5.1	微生物能源概述	(163)
5.2	微生物沼气	(166)
5.3	微生物酒精发酵	(172)
5.4	微生物制氢	(175)
6	微生物农药	(181)
6.1	主要抑制病虫害的微生物类群及其作用机理	(181)
6.2	细菌农药	(184)
6.3	放线菌农药	(187)
6.4	真菌农药	(189)
6.5	病毒杀虫剂	(190)
7	资源微生物对环境的净化作用	(195)
7.1	微生物对农药的降解	(195)
7.2	人工合成有机化合物的微生物降解	(206)
7.3	微生物对有毒元素的转化	(207)
7.4	水体中有机污染物的微生物处理	(213)
	参考文献	(222)

0 绪 论

随着人口的急剧增长、现代科学技术的进步及物质能量消耗的增加,人类向自然界的索取量不断扩大,资源不足的压力日益增大。如何合理、充分地利用和开发自然资源,成为人类急需解决的重要问题。

0.1 资源微生物的概念

0.1.1 自然资源

0.1.1.1 自然资源

资源是一个动态概念,其含义和表述随着人们对它的认识和利用程度的深化而有所不同。资源有两方面含义:一方面是自然界中的自然资源,即能被人类用于生活和生产的一切物质与能量的总称;另一方面是人类自身通过劳动提供的资源,即社会资源或人力资源。随着科学技术的进步和生产水平的提高,人们由于对广泛存在于自然界中的自然资源理解的角度、深度、广度不同,因而对“自然资源”有着不同的定义。

《辞海》中把“自然资源”定义为:“天然存在的自然物,不包括人类加工制造的原料,如土地资源、水资源、生物资源和海洋资源等,是生产的原料来源和布局场所。”

1972年联合国环境规划署认为:“所谓资源,特别是自然资源,是指在一定时间、地点的条件下能够产生经济价值,以提高人类当前和将来福利的自然环境因素和条件。”

《英国大百科全书》把“自然资源”说成是“人类可以利用的自然生成物以及生成这些成分的环境功能”。前者包括土地、水、大气、岩石、矿物及其群聚体,如森林、草地、矿产和海洋等,后者则指太阳能、生态系统的环境机能、地球物理化学的循环机能等。

自然资源是一个相对概念,随着社会生产力的提高和科学技术的进步,其内涵和外延不断加深和扩大。综上所述,自然资源是指存在自然界中能被

人类利用，或在一定技术、经济和社会条件下能被利用的作为生产、生活原材料的物质和能量。

0.1.1.2 自然资源的分类

自然资源的种类繁多，不同类型的自然资源在特性、储量、稳定性、再生性等方面都有很大差异。因此，自然资源的分类方式也多种多样。

(1) 按用途分类

按用途可将自然资源划分为生产资源（如矿产资源）、风景资源（如景观资源）、科研资源（专门用于科研的自然资源）。

(2) 按属性分类

按属性可将自然资源划分为土地资源（包括耕地、林地、草地、园地等）、水资源、气候资源、生物资源以及矿产资源等。

(3) 按生存活动的空间分类

按生存活动的空间可将自然资源划分为空间资源、地面资源、海洋资源和地下资源。

(4) 按位置分类

按位置可将自然资源划分为原位资源和提取性资源。前者是指就整体而言，空间位置并不发生位移的资源，如气候资源；后者是指通过人类的开发利用，可以产生位移的资源，如森林资源通过采伐、矿产资源通过采矿过程均产生了空间位置的变化。

(5) 按流通的部门分类

传统的自然资源分类通常是按照自然资源流通的部门来划分的，如通常人们所说的农业资源、工业资源、交通资源、医药卫生资源以及地质矿产资源等。当然，在每一种类型下又可进一步分类。

(6) 按地理环境分类

按地理环境可将自然资源划分为陆地资源、海洋资源和大气资源等。在陆地资源中又可进一步划分为山地、丘陵、平原、水体等不同类型的资源。

(7) 按能否再生或恢复的特性分类

按能否再生可将自然资源划分为再生资源和非再生资源。再生资源又称可再生资源或可更新资源，包括生物资源和非生物资源，其特点是：人类合理开发利用后，可以依靠生态系统自身的力量，使之得到恢复和再生，人类能够永续利用。

生物资源是指自然界中可供人类利用的有生命的种群总和，主要包括动物资源、植物资源和微生物资源。生物资源是生态系统中有生命的部分，是自然生态系统的主体。生物资源借助生物自身的生长和繁衍能力，与周围环

境中的光、热、水、气、土等非生物资源不断地进行物质循环和能量转化,从而也不断地进行自我更新,并保持一定的数量和质量。如果人类能合理利用、科学培育和保护生物资源,它们就能“取之不尽,用之不竭”,就能为人类源源不断地提供所需的产品。与此相反,若生态失衡,生物资源也可能出现退化、崩溃解体,甚至于消亡和灭绝。因而在开发利用这类资源的过程中,适度性和合理性就显得尤其重要。

非生物资源是指自然界中一部分可供人类利用的无生命的物质,主要包括土地资源、水资源、气候资源、太阳能、风能、潮汐能等,它们是自然生态系统中无生命的部分,主要是借助于生态系统的物质循环和能量转化而不断更新,且保持一定的储量。

非再生资源又称不可再生资源或不可更新资源,原因是这类资源的储量在人类开发利用后逐渐减少以至枯竭,它们的形成极其缓慢,需要几万年到上亿年,可以认为是不可再生资源,例如矿物资源,主要包括能源矿物(煤炭、石油、天然气等)、金属矿物(钨、锡、钼、铁矿等)、非金属矿物(石棉、石墨、黏土等)等。非再生资源是古代生物和非生物在地壳下经过漫长的地质年代形成的。这类资源的特点是储量固定,用一点儿少一点儿,直至用尽。非再生资源的不可再生性是一个不可逆转的特性,必须予以高度重视。

(8) 综合性分类

近些年来,人们愈来愈多地根据自然资源本身固有的特征对其进行分类。这些特征包括自然资源的再生性、可更新性、可变性、重新使用性及发生起源等,其中尤以再生性特征在分类中应用得最为普遍,如图0-1所示的分类系统。

在图0-1中,首先把自然资源分成耗竭性和非耗竭性两大类。耗竭性资源按其是否可以再生或更新又分成再生性资源与不可再生性资源。非耗竭性资源在自然界广泛、大量存在,在当前的社会生产和技术条件下,它们不会在利用过程中导致明显的消耗,如太阳能、风能、地热能、海洋热能、潮汐能等,这类资源十分宝贵,其最大的特点是取之不尽,因此应充分开发和利用。

0.1.2 资源微生物的概念

微生物是一切肉眼看不见或看不清楚的微小生物的总称,它们是一些个体微小、构造简单的低等生物,包括属于原核生物的细菌、放线菌、支原体、立克次氏体、衣原体和蓝细菌,属于真核生物的真菌(酵母菌、霉菌和

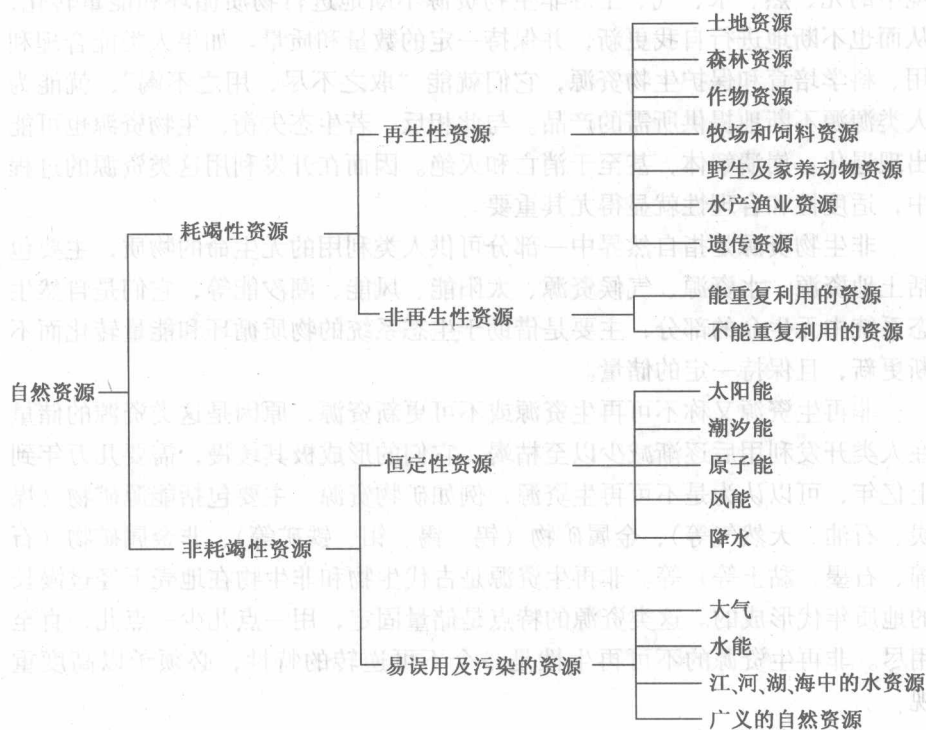


图 0-1 自然资源分类系统图示

大型真菌)、原生动物和某些藻类,以及属于非细胞类的病毒、类病毒和朊病毒等。但是有些微生物例外,个体较大,如许多真菌子实体等常肉眼可见,某些藻类能生长几米长。一般来说,微生物可以认为是相当简单的生物,大多数的细菌、原生动物、某些藻类和真菌是单细胞的微生物,少数为多细胞的微生物,即使是多细胞的微生物也没有很多的细胞类型。病毒甚至没有细胞结构,只有蛋白质外壳包围着的遗传物质,且能独立生活。

微生物在其生命活动过程中,有些对人类是有益的,有些是有害的。在微生物中,那些具有经济价值、有助于改善人类生活和生存环境的微生物称为资源微生物。资源微生物包括食品微生物(酿造、食用菌等)、微生物肥料(细菌肥料、放线菌肥料、复合微生物肥料和菌根菌肥料)、医用微生物(药用菌、医用抗生素产生菌)、微生物饲料(单细胞蛋白、秸秆饲料和微生物饲料添加剂等)、微生物农药(细菌杀虫剂、真菌杀虫剂和病毒杀虫剂)、微生物能源(沼气、微生物电池和酒精燃料)、环境微生物(微生物对农药

及有毒元素的降解、微生物处理污水等)、其他特殊微生物(细菌冶金等)。人类现在广泛利用的资源微生物种类很多,随着科学技术的进步和人类社会的不断发展,更多的资源微生物将被发现,资源微生物的新用途将被不断开发出来,资源微生物对人类的有益作用也将越来越大。

0.2 资源微生物与人类的关系

0.2.1 资源微生物对人类的有益作用

微生物在自然界中广泛存在,与人类的关系十分密切,它们的生命活动与人类的日常活动息息相关。资源微生物对人类有许多有益的作用。

微生物的生命活动是农、林、牧业生产的重要基础。微生物在土壤营养元素循环过程中起着十分关键的作用,由于它们的生长和繁殖使土壤中的动植物残体不断分解,腐殖质不断形成,从而保持了土壤肥力。根瘤菌、自生固氮细菌、弗兰克氏放线菌及藻类等进行的生物固氮是土壤氮素的重要来源,对农业增产具有重要意义。真菌与植物共生形成菌根,能够改善植物的营养吸收,从而促进植物生长。真菌和放线菌产生的代谢产物——抗生素对植物病害防治起着重要作用。微生物农药,如苏云金杆菌制剂等,可用于防治多种农林害虫。在畜牧业中,利用酵母菌生产单细胞蛋白可为牲畜提供高营养的饲料。

微生物在食品工业中的有益作用很早就被人类所发现。早在古代,人们就采食野生菌类,利用微生物酿酒、制酱、制醋。现在的食品工业也离不开微生物,如面包制作、乳酸饮料的生产、氨基酸的生产、维生素的生产等。在化学工业中微生物可被用来生产有机酸、核苷酸、酶制剂等。在临床医学和医药工业中,微生物所产生的抗生素为人类同疾病做斗争提供了极为有力的工具,药用菌产生的多糖能够控制和治疗癌症。在环境保护工程中,微生物能够降解土壤中残留的农药及其他有毒物质,净化工业和生活污水。

微生物的代谢类型多,代谢强度大,因此具有很强的物质转化能力,可以把纤维素、半纤维素转化为酒精,使之成为无污染的能源。产氢气微生物产生的氢气是一种理想的燃料,它与氧发生化学反应时,形成不会污染环境的水分子。从人类面临着资源危机这一事实看,微生物的物质转化能力在扩大可利用资源范围上具有重要意义。

0.2.2 资源微生物的开发前景

21 世纪是“生物学世纪”，微生物资源的开发和利用将占据特别重要的地位。因为微生物资源同工业、农业、林业、医药、环境保护等领域的关系十分密切，所以其开发潜力巨大。微生物中存在着高度的物种、遗传、代谢和生态类型的多样性，根据保守的估计，地球上微生物的物种总数应大大超过动植物总数之和。面对丰富的微生物资源，人类对它的开发和利用只是刚刚开了一个头。在地球上的微生物资源中，已被人们认识的尚不到 1/10，而在被认识的微生物中已得到利用的大概不超过 1%。以真菌为例，据推测，地球上至少有 25 万种，其中被人类所记载的不到 10 万种，已得到利用的还不到几百种。真菌中约有 1 万种是大型真菌，世界上已知可食用的真菌有 2 000 种左右，只有 80 种可以栽培，仅 20 种能够进行商业化生产。因此，微生物资源具有广阔的开发利用前景。

0.3 资源微生物开发利用简史

0.3.1 史 前

在史前时期，世界各国人民在自己的生产实践中都积累了许多利用有益微生物的经验，例如发酵面粉、天然果酒和啤酒的酿造、牛乳和乳制品的发酵等，利用微生物水平最高的应首推我国人民在制曲、酿酒方面的伟大创造。我国人民距今 8 000 ~ 4 500 年，就已发明了制曲酿酒工艺，在 2 500 年前的春秋战国时期，已知如何制酱和醋。在宋代，已采用老的曲子——“曲母”来进行接种，还根据红曲菌有喜酸和喜温的生长习性，利用酸大米和明矾水在较高温度下培养优良的红曲。在 2 000 年前，已发现栽种豆科植物可以肥沃土壤，豆科植物的根瘤有增产作用，并采用积肥、沤粪、压青和轮作等农业措施，利用有益微生物的生命活动来提高作物产量。公元 6 世纪（北魏时期），我国贾思勰的巨著《齐民要术》详细记载了制曲、酿酒、制酱和酿醋等工艺。在 900 年前，人们就能利用自养细菌生命活动的胆水浸铜法生产铜。公元 1578 年，明代李时珍在《本草纲目》中记述了 32 种食用、药用菌。公元 1683 年，清代吴林在《吴萆谱》中记述了 26 种江苏产的菌类，并分上、中、下三品。这些著作都表明我们祖先很早以前就开始认识和利用有益的微生物了。

0.3.2 近 代

从 1861 年巴斯德根据曲颈瓶试验彻底推翻生命的自然发生说并建立胚种学说起,微生物从形态描述进入到生理学研究的新水平。巴斯德通过对发酵现象的研究证明了糖能变成酒精是酵母菌的作用。1882 年,丹麦人 E.C.-Hansen 首次建立了酵母菌的纯种分离法,促进了优良工业菌种资源的选育研究。

1885 年,德国的 D.Frank 提出了真菌与植物的共生体——菌根的概念。1922 年,瑞士的 E.Melin 通过研究林木菌根的形成发现菌根可促进树木的生长,并设计了利用纯培养生产菌根制剂的技术。1888 年,荷兰学者 M.W. Beijerinck 首次用纯培养方法从豆科植物根瘤中分离出共生固氮的根瘤菌,并于 1891 年又分离出了自生固氮菌。通过生物固氮作用的研究使根瘤菌接种剂得到生产和应用,对豆类作物的增产起到了巨大作用,进而也激发了人们对固氮微生物资源的进一步开发利用。1892 年,法国学者 A.Calmette 从中国的传统酒曲中分离出糖化力极强的鲁氏毛霉 (*Mucor rouxianus*),用该菌糖化淀粉原料发酵生产酒精,使酒精产量大幅度增加。

0.3.3 现代资源微生物学的发展

20 世纪上半叶资源微生物学得到了长足的发展。1923 年,德国的 Boidin 培养枯草杆菌 (*Bacillus subtilis*) 生产出细菌性淀粉酶。1929 年,英国的 A. Fleming 发现第一个有临床应用价值的抗生素——青霉素。1943 年,英国的 Florey 和 Chain 等人对青霉素提纯和工业化生产进行了深入的研究,开发出青霉素深层培养法,使青霉素的产量得以大幅度提高。1944 年, S. A. Waksman 首次从放线菌中分离出有临床应用价值的抗生素——链霉素,之后氯霉素、金霉素、四环素等一系列放线菌抗生素相继被发现。1957 年,日本的朝井等用细菌发酵法生产谷氨酸,其后,核苷酸等其他化工产品的微生物发酵生产也相继在日本投产。20 世纪 60 年代以后,由于微生物发酵工程及酶工程迅速发展,微生物资源的开发利用达到了现代化工业的水平。

20 世纪 80 年代以来,在分子水平上对资源微生物的研究迅速发展,在很短的时间内取得了一系列进展,较突出的有:细菌染色体结构和全基因组序列;细菌基因表达的整体调控和环境变化的适应机制;细菌的发育及其分子机理;细菌细胞之间和细菌同动植物之间的信号传递等。

资源微生物产业在 21 世纪将呈现全新的局面。资源微生物在人类的生产和生产实践中已得到广泛的应用,并形成了继动、植物两大生物资源产业

后的第三大产业,它是以微生物的代谢产物和菌体本身为生产对象的生物资源产业,所用的微生物主要是从自然界筛选或选育的自然菌种。21 世纪,除了更广泛地利用和挖掘不同生境的自然资源微生物外,基因工程菌将成为强大的工业生产菌,生产外源基因表达的产物将出现前所未有的新局面。

0.4 资源微生物学研究的内容与任务

0.4.1 资源微生物学研究的内容

资源微生物学是专门以有益微生物为研究对象,重点研究它们的生命活动规律、有益作用及开发利用技术。它是微生物学的一个重要分支,是一门综合性的学科。它融合了普通微生物学、工业微生物学、农业微生物学、食品微生物学、环境微生物学、医学微生物学中与资源有关的部分,同时又渗透了生物化学、分子生物学和化学工程有关的内容。资源微生物学是森林保护专业和林业专业的专业基础课。

0.4.2 资源微生物学的任务

资源微生物学是一门应用性和实践性极强的学科,其任务概括如下:

- ①研究微生物的系统分类及物种多样性,为准确掌握自然界微生物资源的现状和制定科学的微生物资源保护策略奠定基础。
- ②掌握微生物的生态分布、生理及代谢活动规律,为不断开发新的有益微生物种类和充分利用微生物资源提供科学依据。
- ③阐明有益微生物的生化活性、物质转化机理及基因调控机理,不断开发其新的应用途径,并推动对其他自然资源的有效开发和利用。
- ④应用分子生物学技术,研究开发合理而有效的微生物资源应用技术,直接为社会经济服务。

1 微生物学基础

通常人们把一切肉眼看不见或看不清楚的微小生物称为微生物 (micro-organism, microbe), 因此, 它不是生物分类学上的专有名词, 而是一些个体微小、结构简单的低等生物的总称。根据微生物的进化水平和其在各种性状上的明显差异, 把它们分为原核生物 (prokaryotes, 包括真细菌和古生菌)、真核微生物 (eukaryotic microorganism, 包括酵母菌、霉菌和大型真菌) 和非细胞微生物 (acellular microorganisms)。

1.1 微生物的主要类群及特点

1.1.1 微生物在自然界中的地位

在生物学发展史上, 曾把所有生物分为动物界和植物界两大类, 能运动不进行光合作用的生物为动物, 不能运动可进行光合作用的生物为植物。但微生物有些类群 (如某些细菌) 既可运动又能进行光合作用, 把它们归属于动物界或植物界都不合适。于是, 1866 年海克尔 (Haeckel) 提出区别动物界与植物界的第三界——原生生物界, 这个界包括藻类、原生动物、真菌和细菌。随着科学的发展及新技术和研究方法的应用, 学者们又提出了一些新的分类系统。目前较为普遍接受的是 1969 年魏泰克 (Wittaker) 提出的五界系统, 即将所有生物分为原核生物界 (细菌、放线菌、立克次氏体、衣原体、支原体和蓝细菌)、原生生物界 (大部分藻类与原生动物)、真菌界 (酵母、霉菌和大型真菌)、植物界、动物界。后来我国学者建议将生物分为六界: 病毒界、原核生物界、原生生物界、真菌界、植物界和动物界。近年来, 随着应用分子生物学技术对极端环境微生物研究的不断深入, 微生物学者把生物分成三大域, 即真细菌 (eubacteria)、古生菌 (archaea) 和真核生物 (eukaryota)。古生菌主要指极端嗜盐菌、极端嗜酸嗜热菌和产甲烷菌等。

1.1.2 微生物的特点

微生物与自然界中的其他生物一样,具有一切生命活动的共同特点,如新陈代谢、生长繁殖、遗传变异等,但由于其形体极其微小,因而导致了与之密切相关的五个独特的特点,即体积小、面积大,吸收多、转化快,生长旺、繁殖快,适应强、易变异,分布广、种类多。这五大特点无论在理论上还是在实践上都极其重要。

1.1.2.1 体积小,面积大

微生物的个体极小,由几纳米到几微米,要通过光学显微镜才能看见。病毒更小,小于 $0.2\mu\text{m}$,需要通过电子显微镜才可看见。微生物是小体积大面积系统,一般都有一个巨大的营养物质吸收面、代谢废物的排泄面和环境信息的交换面。

1.1.2.2 吸收多,转化快

有资料表明, *Escherichia coli* (大肠杆菌) 在1 h内可分解其自重1 000~10 000倍的乳糖; *Candida utilis* (产朊假丝酵母) 合成蛋白质的能力比大豆强100倍,比食用牛(公牛)强10万倍;增重1倍细菌需0.5 h,而藻类需2~48 h,牧草需1~2周,鸡需2~4周。细菌比植物繁殖快大约500倍,比动物快2 000倍,这个特性为微生物的高速生长繁殖和合成大量代谢产物提供了充足的物质基础,从而使微生物能在自然界和人类实践中更好地发挥其超小型“活的化工厂”的作用。

1.1.2.3 生长旺,繁殖快

微生物具有极高的生长和繁殖速度,极易培养,是其他生物不能比的。一种至今被人类研究得最透彻的生物 *E. coli*, 在合适的生长条件下分裂1次仅需12.5~20 min。若按平均20 min分裂1次计,则24 h可分裂72次,由原初的一个细菌已产生了4 722 366 500万亿个后代,总重约可达4 722 t。但事实上,由于营养、空间和代谢产物等条件的限制,微生物的几何级数分裂速度充其量只能维持数小时而已。

微生物的这一特性在发酵工业中具有重要的实践意义,主要体现在它的生产效率高、发酵周期短上,而且大多数微生物能在常温常压下利用简单的营养物质生长,并在生长过程中积累代谢产物,不受季节限制,可因地制宜、就地取材,为开发微生物资源提供了有利的条件。例如,用作发面剂的 *Saccharomyces cerevisiae* (酿酒酵母),其繁殖速率虽为2 h分裂1次(比上述 *E. coli* 低5倍),但在单罐发酵时,仍可以12 h“收获”1次,每年可“收获”数百次,这是其他任何农作物所不可能达到的“复种指数”。这对缓解

当前全球面临的人口增长与粮食匮乏具有重大的现实意义。另外,微生物的生长旺、繁殖快的特性对生物学基本理论的研究也带来极大的便利,它使科学研究周期大为缩短、空间减少、经费降低、效率提高。

1.1.2.4 适应强,易变异

微生物具有极其灵活的适应性和代谢调节机制,这是任何高等动、植物所无法比拟的。其原因主要是它们体积小和表面积大。为了适应多变的环境条件,微生物在其长期的进化过程中就产生了许多灵活的代谢调控机制,并有种类众多的诱导酶。微生物对环境条件尤其是地球上那些恶劣的“极端环境”(如高温、高酸、高盐、高辐射、高压、低温、高碱、高毒等)的惊人适应力,堪称生物界之最。

微生物的个体一般都是单细胞、简单多细胞甚至是非细胞的,它们通常都是单倍体,加之具有繁殖快、数量多以及与外界环境直接接触等特点,因此即使其变异频率十分低(一般为 $10^{-10} \sim 10^{-5}$),也可在短时间内产生大量变异的后代,最常见的变异形式是基因突变。人们利用微生物易变异的特点进行菌种选育,能够在短时间内获得优良菌种,提高产品数量和质量。如若保存不当,菌种的优良特性易发生退化,使产量降低,甚至无法正常进行生产。

1.1.2.5 分布广,种类多

微生物在自然界是一个十分庞杂的生物群体,地球上除了火山的中心区域等少数地方外,从土壤圈、水圈、大气圈至岩石圈,到处都有它们的踪迹。不论是在动、植物体内外,还是在土壤、河流、空气、平原、高山、深海、污水、垃圾、海底淤泥、冰川、盐湖、沙漠,甚至油井、酸性矿水和岩层下,都有大量与其相适应的各类微生物在活动。

迄今为止,我们所知道的微生物约为 20 万种,这个数字每年还在急剧增长。在微生物中较易培养和观察的大型微生物——真菌,至今每年还可发现约 1 500 个新种。微生物的生理代谢类型之多,是动、植物远远不及的。分解地球上贮量最丰富的初级有机物——天然气、石油、纤维素、木质素的能力为微生物所垄断;微生物有着最多样的产能方式,诸如细菌的光合作用、嗜盐菌的紫膜光合作用、自养细菌的化能合成作用,以及各种厌氧产能途径等;生物固氮作用;合成各种复杂有机物——次生代谢产物等的能力;对复杂有机分子的生物转化能力;分解氰、酚、多氯联苯等有毒和剧毒物质的能力;抵抗热、冷、酸、碱、高渗、高压、高辐射剂量等极端环境的能力等等。微生物的代谢产物是多种多样的,如抗生素、酶类、氨基酸、维生素及有机酸等,从基因水平看微生物的多样性,充分显示了微生物基因组种类