

第一章 绪 论

第一节 微生物及其特点

一、何谓微生物

地球是宇宙中一个有生命的星球。人们首先认识、利用、繁育和改造生物世界中形体高大、结构复杂的动、植物,以它们作为食物来源和居所材料,使人类得以生存和繁衍。但是庞大复杂的生物体系绝不仅仅由动植物组成。形体微小、结构简单、代谢旺盛、繁殖快捷,具有顽强生命力的微小生物是生物世界中不能缺少、不可替代的重要成员,包括:细菌、古生菌、立克次氏体、支原体、衣原体、放线菌、真菌、单细胞藻类、原生动物和病毒等,这些生物统称微生物(microorganism)。微生物在形态上与动植物有明显的差别,但它们仍具有生命体的共同特征:

- ①除病毒外均由细胞作为个体最基本的组成单位。
- ②构成细胞的化学物质是大分子的蛋白质、核酸、糖类、脂质及其衍生物。
- ③能独立自主地进行新陈代谢,产生生命活动所需的能量和建造细胞所需的物质。
- ④具有体现各自生命特征的基因型、基因结构和表达基因型的蛋白质组,使之呈现出生命特征的基本属性——受基因制约和调控的遗传性和变异性。

微生物与人类关系十分密切,它给人类带来的利益不仅仅是享受,而且涉及人类的生存。在我们日常生活中的许多重要产品的生产中,微生物所起的作用是不可替代的,如面包、啤酒、白酒、酸奶、抗生素、维生素、疫苗等。微生物还是地球的清洁工,没有微生物,地球上的物质将不能进行循环。

二、微生物的主要类群

微生物的类群十分庞杂,按其结构、化学组成及生活习性等差异可分成三大类,即真核微生物、原核微生物和非细胞微生物。

真核微生物细胞核的分化程度较高,有核膜、核仁和染色体;胞质内有完整的细胞器(如内质网、核糖体及线粒体等)。属于真核微生物的有真菌(酵母菌、霉菌、蕈菌)、单细胞藻类和原生动物等。

原核微生物的细胞核分化程度低,仅有原始核质,没有核膜与核仁;细胞器不很完善。这类微生物种类繁多,有细菌、放线菌、蓝细菌、立克次氏体、支原体、衣原体及古细菌等。

非细胞微生物没有典型的细胞结构,亦无产生能量的酶系统,只能在活细胞内生长繁殖。病

毒和亚病毒属于此类型微生物。

由于它们的形体简单微小、生物学特性比较接近、研究方法及生产应用相似,因此把它们都归于微生物学研究的对象。

三、微生物的特点

微生物具有生物的共同特点:基本组成单位是细胞(病毒除外);主要化学成分都含有蛋白质、核酸、多糖、脂类等;新陈代谢等生理活动相似;受基因控制的遗传机制相同;都有繁殖能力等。但微生物由于其形体都极其微小,因而导致了一系列特有的共同点: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。

(一)形体微小,结构简单

微生物的个体都相当微小,测量其大小通常用微米(μm)或纳米(nm)为单位。肉眼一般看不见,必须借助显微镜将它们放大几百倍乃至上千倍才能看清,有些微生物,如病毒用普通光学显微镜也无法看到,只有用电子显微镜将它们放大几万倍以至几十万倍才能看清。

微生物结构简单,大多数是单细胞个体,少数是简单的多细胞个体。病毒、亚病毒等是没有细胞结构的大分子生物。形体微小、结构简单是所有微生物的基本特征。

(二)种类繁多,分布广泛

微生物的种类繁多:物种多、代谢类型多、代谢产物多、遗传基因多、生态类型多。据统计,目前已发现的微生物约 15 万种。截至 2005 年 12 月底,已描述过的微生物中病毒有 5 450 多种,古菌 520 种,细菌 19 858 种,真核微生物 120 336 种。更大量的微生物资源还有待我们发掘。随着分离、培养方法的改进和研究工作的深入,微生物的新种、新属、新科,甚至新目、新纲不断发现。即使研究较早的真菌,现在每年还发现约 1 500 新种。有人估计已发现的微生物种类最多也不超过自然界中微生物总数的 10%。可以相信,随着人类认识和研究工作的发展,总有一天微生物的总数会超过动植物的总和。

(三)吸收多、转化快

微生物大的表面积必然具有强的接受环境信息、物质和能量交换的能力,为微生物生物量的积累和代谢产物的生产提供了充分的物质基础。例如,在适宜条件下大肠杆菌每小时可消耗其自身重量 2 000 倍的糖。乳酸细菌每小时可产生自身重 1 000 倍的乳酸。1 个 500 kg 重的乳牛 24 h 生产的蛋白质约 1 kg,同样重量的酵母 24 h 生产 500 000 kg 蛋白质。

微生物的高效率的吸收转化能力具有极大的应用价值,即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。

(四)生长旺、繁殖快

微生物具有极高的生长和繁殖速度,是高等动植物无法比拟的。如在适宜的条件下大肠杆菌细胞分裂一次仅需 20 min,那么 24 h 就能繁殖 72 代,这时,由原来的 1 个细胞可繁殖到 4.722×10^{21} 个,重量可达 4.722×10^6 kg。细菌的繁殖速度比植物繁殖速度快 500 倍、比动物繁

殖速度快 2 000 倍。但是这必须以足够的营养、空间和适宜的环境等条件为前提,而实际生产中由于受到营养、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只能维持数小时。因而在液体培养中,细菌细胞的浓度一般仅达 $10^8 \sim 10^9$ 个/mL。

微生物的快速繁殖能力在工业发酵上可大大提高生产效率,在科学研究中可以缩短科研周期。当然,必须注意防止一些危害人、畜和农作物的病原微生物及会使物品霉腐变质的有害微生物。

(五)容易培养

微生物容易培养,能在常温常压下利用简单的营养物质,甚至工农业废弃物生长繁殖,积累代谢产物。利用微生物发酵法生产食品、医药、化工原料等具有许多优点:设备简单,不需要高温、高压设备;原料广泛,可用廉价的甘薯粉、米糠、麸皮、玉米粉及废糖蜜、酒糟等工农业副产品;不需要催化剂;产品一般无毒;工艺独特,成本低廉,可因地制宜,就地取材。

第二节 微生物的分类

一、微生物在生物界的分类地位

在生物学发展中曾将所有生物分为植物界和动物界。我国在两千多年前的《周礼·地官》及《考工记》等典籍中明确将生物分为植物和动物,并进一步细分为很多种类。藻类有细胞壁,进行光合作用,归于植物界。原生动物无细胞壁,可运动,绝大多数不进行光合作用,归于动物界。许多细菌有细胞壁,进行光合作用,可运动,将它们归于植物界或动物界均不合适。1866 年海克尔(Haeckel)提出三界系统,将生物分为动物界、植物界和原生生物界。1969 年魏塔克(Whittaker)提出的五界系统,将具有细胞结构的生物分为原核生物界,包括细菌和蓝细菌;原生生物界,包括大部分藻类和原生动物;真菌界,包括酵母菌和霉菌等;以及植物界和动物界。1977 年我国学者王大耜等提出将所有生物分为六界:病毒界、原核生物界、真核原生生物界、真菌界、植物界和动物界(图 1-1)。

微生物分类是一个十分复杂的问题,主要是由于微生物的特点,其分类的方法不同于一般的生物分类。由于微生物的形态结构非常简单,长久以来,微生物分类特别是细菌分类学,在分类时主要是以形态为主、生理生化为辅,结合生态学和细胞化学等方面的特征,进行各级分类单位的划分。常用的微生物分类依据主要有形态学特征、表形特征、生理特征、生态特征、血清学反应、噬菌体反应等。随着生物科学的发展,现代微生物分类技术也在不断进步,已经开始采用分子生物学等最新研究手段和成果,如 DNA 中 G+C 含量分析、DNA-DNA 杂交、DNA-rRNA 杂交、16S rRNA 碱基顺序等。这些新技术的应用,不仅使微生物分类更加客观,更加接近系统分类的要求(即反映生物种类的系统进化关系),也纠正了一些原先的错误。而数值分类法的应用,更能使分类(检索)过程实现自动化。

随着分子生物学的发展,到 20 世纪 70 年代,Woese(1977)等在研究了 60 多种不同细菌的 16S rRNA 序列后,发现了一群序列独特的细菌——甲烷细菌,这是地球上最古老的生命形式,与细菌在同一进化分支上,称为古细菌(archaeobacteria)。1990 年,Woese 等人正式提出了生命

系统是由细菌(bacteria)域、古菌(archaea)域和真核生物(eukarya)域所构成的三域说(three domains proposal),由此构建出新的宇宙生物进化树(图 1-2)。

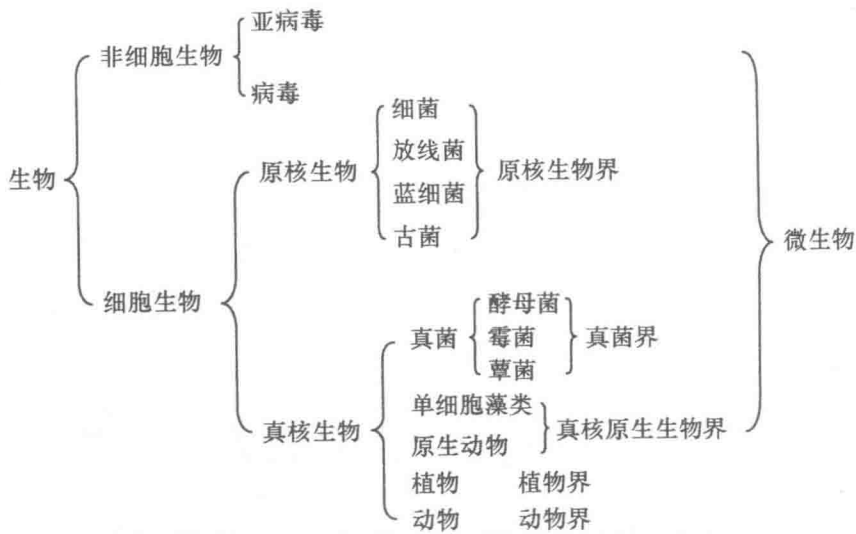


图 1-1 生物的分类概貌

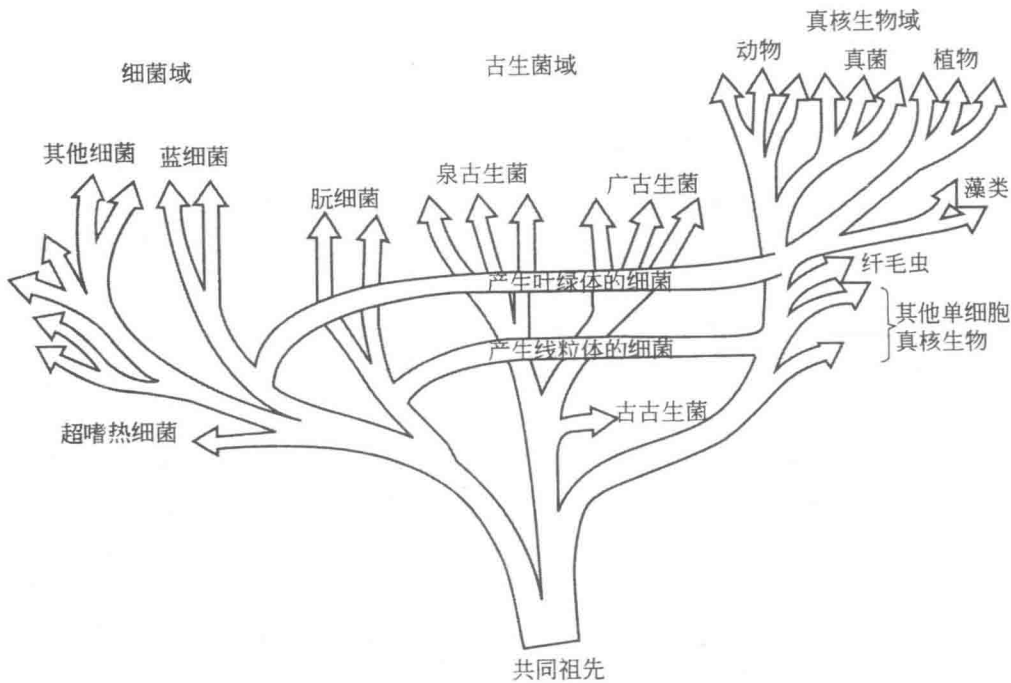


图 1-2 宇宙生物进化树

二、原核细胞与真核细胞的区别

在有细胞结构的微生物中,按其细胞结构,尤其是细胞核的构造和进化上的差异,把它们分为原核微生物和真核微生物。其细胞结构区别如表 1-1。

表 1-1 原核生物细胞和真核生物细胞结构的区别

性状	原核生物细胞	真核生物细胞
核	原核,无核膜,只有核区	完整的细胞核,有核膜、核仁和核质
染色体	仅有一条裸露双链环状 DNA	有两条以上染色体,DNA 与蛋白质结合
细胞大小	1~10 μm	3~100 μm
核糖体	170S(由 50S 和 30S 两个亚基组成)	80S(由 60S 和 40S 两个亚基组成)
细胞分裂	二分裂,无有丝分裂和减数分裂	有有丝分裂和减数分裂
细胞器	有间体,无内质网、线粒体等细胞器	有内质网、线粒体、叶绿体等细胞器

三、微生物的分类和命名

(一)微生物的分类

微生物的分类单元和动、植物一样,分为界、门、纲、目、科、属、种 7 个基本的等级。在两个主要分类单元之间,还可以添加亚门、亚纲、亚目、亚种等次要分类单元。种以下还可分为变种、菌株和型等非正式的类群单位。

(二)微生物的命名

为避免混乱和便于工作、学术交流,有必要给每一种生物制定统一使用的科学名称,即学名 (scientific name)。国际上建立了生物命名法规,如国际植物命名法规、国际动物命名法规、国际栽培植物命名法规、国际细菌命名法规等。

目前在国际上对生物进行命名所统一采用的命名法是“双名法”。其基本原则是由林奈确定的。林奈是瑞典生物学家(Linnaeus,1707—1778),他在 1753 年发表的《自然系统》一书中首先提出了双名法(Binomial Nomenclature),并且为生物学家们所认可,由此,林奈被称为近代生物分类法的鼻祖。

一个生物的名称(学名)由两个拉丁字母(或拉丁化形式的字)表示,第一个字是属名,为名词,主格单数,第一个字母要大写;第二个字是种名,为形容词或名词,第一个字母不用大写;出现在分类学文献上的学名,往往还再加上首次命名人的姓氏(外加括号)、现名命名人的姓氏和现名命名年份,但有时往往忽略这三项;学名在印刷时应当用斜体字,手写时下加横线。需要注意的是,其他的分类阶元,如门、纲、目、科等的名称,首字母要大写,但不需印成斜体字。

学名=属名+种名+(首次命名人)+(现名命名人)+(命名年份)

例如,我们所熟悉的大肠埃希杆菌(大肠杆菌),其学名为 *Escherichia coli* (Migula)Castellani et Chalmers 1919,简称 *E. coli*;枯草芽孢杆菌(枯草杆菌)的学名为 *Bacillus subtilis* (Ehrenberg)Cohn 1872。

属名被缩写,一般发生在或是该属名十分常见,或是在本文的前面已经出现过该属名的情况下。当该细菌只被鉴定到属,没鉴定到种,则该细菌的名称只有属名,没有种名,这时可以用 sp. 或 spp. 来代替种名进行表达,sp. 或 spp. 为种 species 的缩写,如 *Bacillus* sp. (spp.) 表示该细

菌为芽孢杆菌属中的某一个种。

第三节 微生物学及其发展

一、微生物学

微生物学(microbiology)是生物学的一个分支,它是研究微生物及其生命活动规律和应用的科学。是在群体、细胞或分子水平上研究微生物的形态结构、生理代谢、遗传变异、生态分布和分类进化等生命活动的基本规律,并将其应用于工业发酵、医疗卫生、环境保护和生物工程领域。

(一)微生物学的任务

由于微生物学是研究微生物及其生命活动的规律,研究它们与人类的关系,其根本任务就是塑造、利用和改善有益微生物,控制、消灭或改造有害微生物,造福人类,为人类社会的进步服务。

(二)微生物学的分支学科

随着微生物学研究的不断深入,微生物学基本理论和基本知识的逐年丰富,在科学界占据重要位置并具有广泛应用价值的微生物学,已由单一学科派生出与其相关的诸多分支学科。这些分支学科的出现为进一步广泛、深入地研究微生物,使之更加有利于人类的生存和社会经济的可持续发展,已经取得并正在取得更为显著的成效。

按照微生物学的研究内容、研究技术、类群、生态关系和应用范围等,微生物学的分支学科如图 1-3 所示。

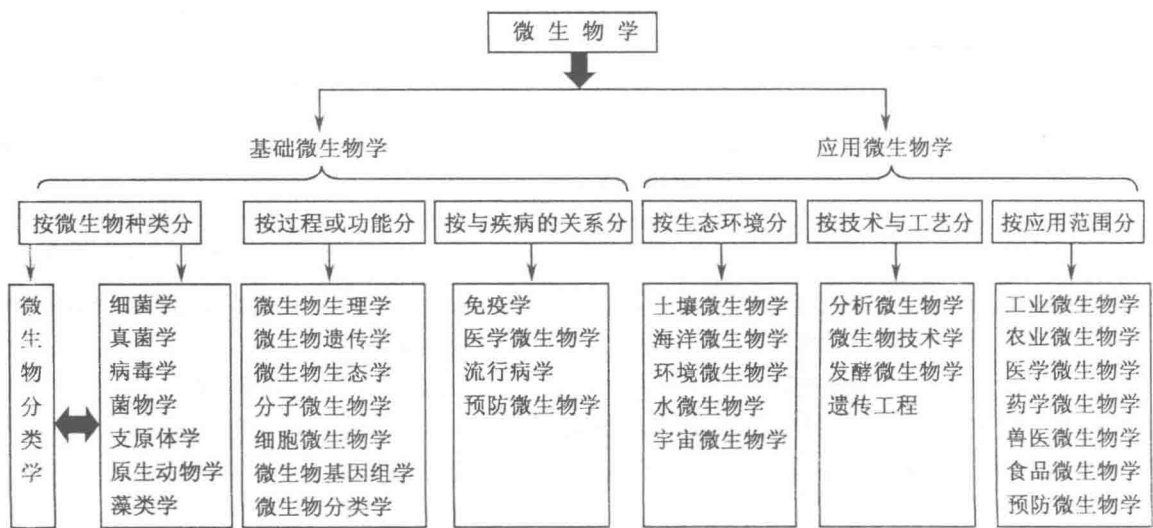


图 1-3 微生物学的分支学科

二、发展简史

从微生物学的发展史看,对微生物的认识是从微生物的应用开始的。早在 8 000 多年前已经出现了曲酿酒,4 000 多年前我国酿酒已十分普遍。随着显微镜的发明、微生物的发现、灭菌技术的运用和纯培养技术的建立,微生物学在逐步发展,各国学者不断探究微生物的活动规律,有目的地开发利用有益微生物,控制、消灭有害微生物。根据各个历史时期微生物学发展特点,把微生物学的发展历史分为 5 个时期,即史前期、初创期、奠基期、发展期和成熟期。

(一)史前期(约 8 000 年前至 1676 年)

史前期是人类还未见到微生物个体之前的一段漫长的历史时期。当时人类虽然未见到微生物个体,却自发地与微生物频繁地打交道,并根据自己的经验在实践中开展利用有益微生物和防治有害微生物的活动。但只是长期停留在实践的低水平的应用阶段。

我国人民在长期的生产实践中,积累了丰富的经验。早在 4 000~5 000 年前的“龙山文化”时期已能用谷物制酒,发明了制曲酿酒工艺。公元前 17 世纪(殷商时期)就有酿酒等的记载,表明当时酿酒业已比较发达。酿酒的复式发酵法是我国古代劳动人民的一大发明,我国驰名世界的黄酒和白酒,均是在此基础上发展而产生的。直到 19 世纪末,欧洲人才研究了这种方法,称之为“淀粉发酵法”。制作红曲是我国劳动人民的又一项重大发明,红曲是我国的特产,不仅是一种无害的食品原料,还可入药。两千年前,我国已能利用微生物制醋、做酱。微生物方法制酱为我国首创,日本人木下浅吉的《实用酱油酿造法》一书,说明日本人制酱方法最初是由我国传入的。长期以来,我国劳动人民一直利用盐腌、糖渍、烟熏、风干等方法保存食品,都是利用抑制微生物生长繁殖来防止食品腐烂变质的有效措施。

关于微生物与传染病流行的关系、与动植物病害的关系及防治等我国也认识很早。如在 2 000 年前就有对鼠疫流行的记载,公元 2 世纪《神农本草经》中就有“白僵(病)”的记载,明朝李时珍所著《本草纲目》中记载了不少植物病害。我国很早就应用茯苓、灵芝等真菌治疗疾病,而且一向被古人视为灵丹妙药。历代劳动人民对作物、蚕病也有各种防治措施。我们应继承先辈的精神,在各方面继续保持我们的领先地位,为世界科学发展作出比我们祖先更大的贡献。

(二)初创期(1676—1861)

人类对微生物的利用虽然很早,并已推测自然界存在着肉眼看不到的微小生物,但由于技术条件的限制,无法实验证实。显微镜的发明揭开了微生物世界的奥秘。1676 年荷兰人列文虎克(Leeuwenhoek)用自制的能放大 200~300 倍的简单显微镜(见图 1-4)在雨水、牙垢、血液、污水、腐败有机物中观察到并描绘了微小生物,发表在英国《皇家学会科学研究会报》上,为微生物的研究创造了条件。在微生物学的发展史上,他的发现具有划时代的意义。限于当时科学技术水平,在此后 2 个世纪中对微生物知识的积累缓慢,一直停留在形态的描述,未能将其形态与生理活动及人类生产实践联系起来,不了解微生物的活动规律及其与人类的关系,还未形成学科。因此将这一时期称为“形态学时期”。

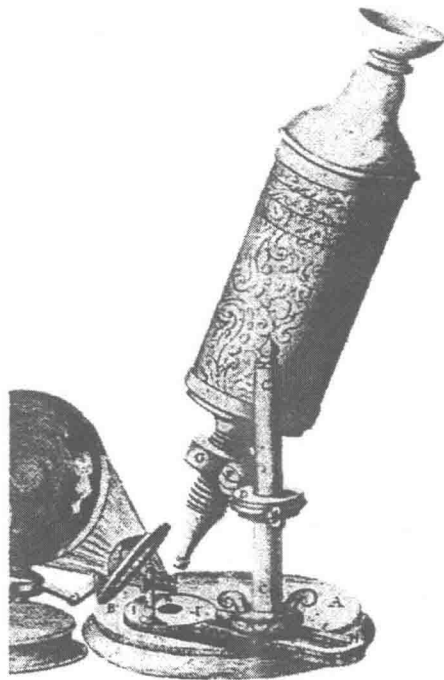


图 1-4 列文虎克最早使用的光学显微镜

(三)奠基期(1861—1897)

微生物学作为一门学科,是在 19 世纪中期才发展起来的。19 世纪 30 年代至 40 年代由于马铃薯晚疫病在欧洲广泛流行,造成严重灾荒。60 年代又出现酒变酸和蚕病危害等问题,推动了人们对微生物的研究。首先,是以法国人巴斯德(L. Pasteur)(1822—1895)和德国人柯赫(Robert Koch)(1843—1910)为代表的科学家研究了微生物的生理活动,并与生产和预防疾病联系起来,为微生物学奠定了理论和技术基础。

巴斯德在微生物学和药物学上还取得了许多其他的成功,其中主要是在炭疽病、狂犬病等疾病的高发期(1880—1890)对这些疾病疫苗的开发作出的贡献,发明了接种减毒菌苗预防鸡霍乱病和牛、羊炭疽病,并首次制成狂犬疫苗,用于防治狂犬病。这些医药方面的突破不但对捍卫巴斯德自己的观点具有重要意义,而且巩固了关于疾病微生物学理论的基本概念,这一领域后来被柯赫发展起来。

图 1-5 为巴斯德的曲颈瓶试验。

同时期的另一位细菌学奠基人是德国学者柯赫,他把早年应用的马铃薯固体培养技术,改进为明胶培养技术,进而提高为琼脂平板技术(1882),与他的助手们创立了显微摄影、悬滴培养及染色等一整套微生物研究方法;他首次分离出炭疽杆菌(1877),相继在 1882—1883 年间又分离出结核杆菌、链球菌和霍乱弧菌等病原微生物;依据病原说,他提出了著名的柯赫原则(图 1-6):

- ①病原微生物总是在患传染病的动物中发现,不存在于健康个体中。
- ②可自原寄主获得病原微生物的纯培养。
- ③纯培养物人工接种健康寄主,必然诱发与原寄主相同的症状。

④必须自人工接种后发病寄主再次分离出同一病原的纯培养。他的工作为微生物学奠定了坚实的科学基础。

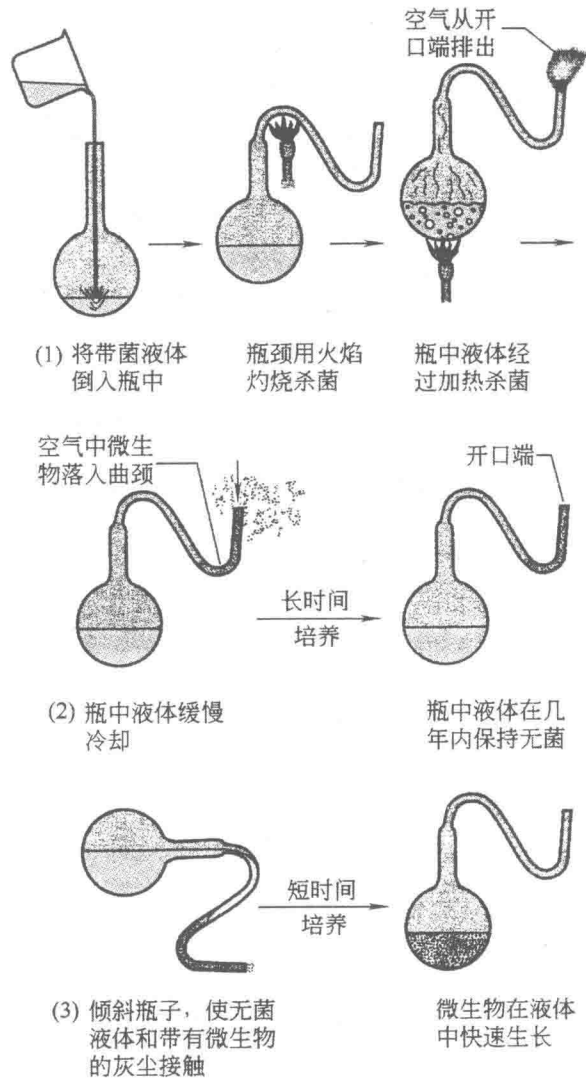


图 1-5 巴斯德的曲颈瓶试验

这一时期的主要成就可以概括为：

①大多数在欧洲广泛流行的传染病的病原体都被分离出来,使人们对这些疾病进行有效地治疗和预防成为可能。

②化学治疗剂的合成与抗生素不断发现,拯救了千百万人的生命,对猖獗一时的传染病治疗,发挥了巨大作用,也为医药生产和抗生素工业奠定了基础。

③在微生物知识不断积累的基础上,一系列微生物学的分支学科也相继建立,如细菌学、真菌学、病毒学、免疫学、植物病理学、酿造学和土壤微生物学等。

④开创了微生物生理代谢研究的新阶段。

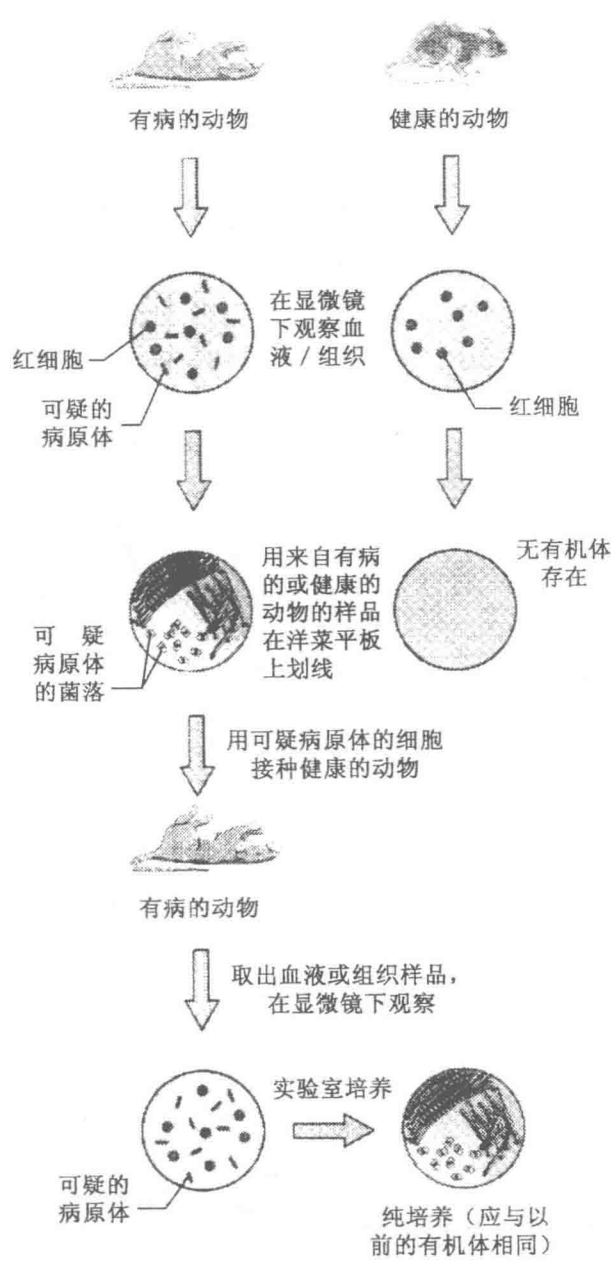


图 1-6 柯赫原则示意图

(四)发展期(1897—1953)

1897 年,德国人 E. Btichner 用酵母菌无细胞滤液进行酒精发酵取得成功,建立了现代酶学,从而开创了微生物生物化学研究的新时代。此后,微生物生理、代谢研究蓬勃发展了起来。1929 年英国医生 A. Fleming 发现青霉素能抑制细菌生长。此后,开展了对抗生素的深入研究,科学家们纷纷从微生物中寻找抗生素类物质。1944 年,美国土壤微生物学家 Waksman 等找到了链霉素、氯霉素、四环素、金霉素等数百种抗生素。抗生素工业如雨后春笋一样发展起来,形成了强大的现代化产业部门。除医学应用外,抗生素还广泛用于动植物病害及杂草防治和食品保藏等

方面。

1935 年 W. Stanley 得到烟草花叶病毒的结晶。1937 年 F. Bordon 等证实该结晶为核蛋白,它具有感染能力。此后,证明其他许多病毒的主要成分也是核蛋白。核蛋白由核酸与蛋白质组成,只有核酸具有浸染能力。这些发现不仅为病毒病的治疗指明了途径,而且为探索生命的本质和起源提供了线索。

20 世纪 30 年代电子显微镜的发明,突破了光学显微镜的限制,为微生物学等学科提供了重要的观察工具。1939 年 G. Kausche 等第一次用电子显微镜观察了棒状的烟草花叶病毒。

1941 年 G. Beadle 和 E. Tatum 分离并研究了脉孢菌的一系列生化突变型,将遗传学和生物化学紧密结合起来,不仅促进了微生物遗传学和微生物生理学的建立,而且也促进了分子遗传学的形成。同时,也使基因和酶的关系得到阐明,提出了“一个基因一个酶”的假说,对基因的作用和本质有了进一步的了解。

1944 年 O. Avery 等通过细菌转化实验,证明储存遗传信息的物质是脱氧核糖核酸(DNA),第一次确切的将 DNA 和基因的概念联系起来,开创了分子生物学的新纪元。

(五)成熟期(1953 年至今)

进入 20 世纪,由于电子显微镜的发明,同位素示踪原子的应用,生物化学、生物物理学等边缘学科的建立,推动了微生物学向分子水平的纵深方向发展。

1953 年 Watson 和 Crick 提出 DNA 双螺旋结构模型。

1972 年 Arber、Smith 和 Nathans 发现并提纯了限制性内切酶。

1973 年 Cohen 等将重组质粒成功转入大肠杆菌。

1977 年 Woese 提出古生菌是特殊类群。

1982 年 Prusiner 发现朊病毒。

1983 年 Francoise Barré-Sinoussi Luc 和 Montagnier 发现人类免疫缺陷病毒(HIV)。

1984 年 Mullis 建立 PCR 技术。

1989 年 Bishop 和 Varmus 发现癌基因。

1997 年第一个真核生物(啤酒酵母)基因组测序完成。

2003 年全球爆发非典型肺炎(SARS)。

2005 年 Marshall 和 Warren 证明胃炎、胃溃疡是由幽门螺杆菌感染所致。

三、生物学的未来展望

微生物学的发展简史充分说明,微生物学已经深刻地影响着人类社会。面对未来,它的将来又会怎么样呢? 科普作家 Berard Dixon 对微生物学的将来非常乐观:一是微生物学比许多其他学科有更清楚的使命;二是由于它重要的实用性,人们对于它的价值满怀信心。展望微生物学的未来,我们可以从其学科的任务和实际意义探讨微生物学的发展趋势。

(一)生物基因组学研究将全面展开

所谓“基因组学”是 1986 年由 Thomas Roderick 首创,至今已发展成为一专门的学科领域,包括全基因组的序列分析、功能分析和比较分析,是结构、功能和进化基因组学交织的学科。

未来微生物基因组学将在后基因组研究(认识基因与基因组功能)中发挥不可取代的作用,会进一步扩大到与工业、农业及与环境、资源、疾病有关的重要微生物。目前已经完成基因组测序的微生物主要是模式微生物、特殊微生物及医用微生物。而随着基因组作图测序方法的不断进步与完善,基因组研究将成为一种常规的研究方法,帮助我们从根本上认识微生物,使我们在自身利用和改造微生物上产生质的飞跃,并将带动分子微生物学等基础学科研究的发展。

(二)相互作用为内容的微生物研究将全面深入

以研究微生物之间、微生物与其他生物、微生物与环境的相互作用为内容的微生物生态学、环境微生物学、细胞微生物学等,将在基因组信息的基础上获得长足发展,为人类的生存和健康发挥积极的作用。

(三)微生物生命现象的特征和共性将更加受到重视

微生物具有其他生物不具备的生物学特性,具有其他生物不具备的代谢途径和功能。如微生物可在其他生物无法生存的极端环境下生存和繁殖,如厌氧生活、化能营养、不释放氧的光合作用和生物固氮等,反映了微生物具有极其丰富的多样性特点。微生物生长、代谢、繁殖共用一套遗传密码等具有其他生物共有的基本生物学特性,反映了生物高度的统一性。微生物个体微小、结构简单、生长周期短、易培养和变异,便于研究。微生物这些生命现象的特性和共性,将是进一步研究解决如生命起源与进化、物质运动的基本规律等生物学重大理论问题和新的微生物资源、能源、粮食的开发利用等实际应用问题最理想的材料。

(四)与其他学科实现更广泛的交叉,获得新的发展

微生物学、生物化学和遗传学的交叉形成了分子生物学,而微生物基因组学则是数、理、化、信息、计算机等多种学科交叉的结果。随着各学科的迅速发展和人类社会的实际需要,各学科之间的交叉和渗透将是必然的发展趋势。未来的微生物学将进一步向地质、海洋、大气、太空渗透,使更多的边缘学科得到发展,如大气微生物学、太空(或宇宙)微生物学、微生物地球化学、海洋微生物学以及极端环境微生物学等。微生物与能源、信息、材料、计算机的结合也将开辟新的研究和应用领域。另外,微生物的研究技术与方法,也将在吸收其他学科先进技术的基础上,向自动化、定向化和定量化发展。

(五)微生物产业将呈现全新的局面

微生物从发现到现在已经成为继动物、植物两大生物产业后的第三大产业。这是以微生物的代谢产物和菌体本身为生产对象的生物产业,所用的微生物主要是从自然界筛选培育的自然菌种。未来的微生物产业除了更广泛地利用和挖掘不同环境(包括极端环境)的自然资源外,基因工程菌将形成一批强大的工业生产菌,生产外源基因表达的产物,特别是药物的生产将出现前所未有的新局面。

另外,随着生物技术革命的深入,微生物的应用领域将不断扩展,生产出各种各样的新产品,例如微生物塑料、微生物传感器、微生物燃料电池、微生物生态修复制剂及病原微生物诊断的DNA芯片等,特别是生物芯片技术,预计将会和聚合酶链反应(PCR)和DNA重组技术一样,给分子生物学和相关学科带来突飞猛进的飞跃。

第四节 微生物与人类的关系

微生物与人类社会和文明的发展有着极为密切的关系。微生物与人类关系的重要性和对于人类已有文明所做出的贡献以及对于人类可持续发展所具有的贡献潜力,都有着光辉的记录并将继续创造着新的功绩。在现代科学中,对人类健康关系最大、贡献最为突出的应该算是微生物学了。所以现代微生物学是一个具有许多不同专业方向的大学科,它对医学、工业、农业、生态环境、生物化学和分子生物学等都有重大影响,并且促进了人类的进步。

一、微生物与医疗保健

微生物病原菌也曾给人类带来巨大灾难。14 世纪中叶,鼠疫耶森氏菌引起的瘟疫导致了欧洲总人数约 1/3 的人死亡。新中国成立前的我国也经历了类似的灾难。即使是现在,人类社会仍然遭受着微生物病原菌引起的疾病灾难威胁。艾滋病、肺结核、疟疾、霍乱正在卷土重来和大规模传播,还有正在不断出现的新的疾病如疯牛病、军团病、埃博拉病毒病、大肠杆菌 0157、霍乱 0139 新致病菌株,2003 年春的 SARS 病毒、西尼罗河病毒,2004 年的禽流感病毒等等,正在给人类带来新的疾病与灾难。

然而,通过医疗保健战线上的“六大战役”,即外科消毒手术的建立,寻找人畜重大传染病的病原菌,免疫防治法的发明和广泛应用,磺胺等化学治疗剂的普及,抗生素的大规模生产和推广,以及近年来利用工程菌生产多胺类生化药物等,使原来猖獗的细菌性传染病得到了较好的控制,天花等烈性传染病已彻底绝迹,小儿麻痹症也已基本消灭,乙型脑炎等流行病也在逐步控制和消灭中。另外,对人类流感病毒开展了生态研究,亚洲甲型流感病毒是我国首先发现的。肿瘤病毒的研究十分活跃。还开展了对真菌毒素和细菌毒素、衣原体、支原体等的研究工作。我国科学家汤飞凡于 1956 年首先成功分离并培养沙眼衣原体,在国际学术界引起轰动,荣获国际沙眼防治组织颁发的沙眼金质奖章。正因为如此,人们的健康水平大幅度提高,平均寿命约提高了 25 岁。

兽医学方面,对布鲁氏病等多种人畜共患病进行了深入的研究,已使常用诊断制剂标准化,提高了诊断技术。研制了许多细菌病原的安全有效的菌苗,为防治这些细菌性传染病做出了贡献。对动物病毒病的研究也取得了显著成绩,我国首先研制并应用的马传染性贫血疫苗、猪瘟疫疫苗、猪肺疫-猪瘟-猪丹毒三联疫苗等多种疫苗,在国际上得到了较高的评价。

二、微生物与工业发展

通过食品罐藏防腐、酿造技术的改造、纯种厌氧发酵的建立、液体深层通气搅拌大规模培养技术的创建以及代谢调控发酵技术的发明,古老的酿造技术迅速发展为工业发酵新技术;接着,又在遗传工程等高新技术的推动下,进一步发生质的飞跃,发展为发酵过程,并与遗传过程、细胞过程、酶过程和生物反应器过程一起,共同组成当代的一个高技术学科——生物工程学(biotechnology)。

我国抗生素、氨基酸、有机酸、多糖、寡糖、维生素、酿酒、酶制剂等的生产都已具相当规模。

例如抗生素产量不断增加,质量逐步提高,品种逐渐增多,发酵单位也稳步上升,产品的产量居世界首位,远销世界各国。我国的一步发酵法生产维生素 C 和十五碳二元酸生产新工艺以及十二碳二元酸及其衍生物工业化生产技术等都达到了国际先进水平。我国成功地以薯干和废糖蜜为原料,用微生物发酵法生产味精、柠檬酸、甘油、有机酸等,产量高,质量好。许多产品结束了过去依赖进口的局面。尤其是利用发酵法生产酶制剂,在我国属于新兴工业,促进了酿酒、食品、印染、制糖、纺织、皮革等行业的发展,它不仅仅提高了产量,更主要的是提高了产品质量。我国已成功地将微生物发酵法用于石油脱蜡,降低油品凝固点,以满足工业生产和国防建设的需要。以石油为原料发酵生产酵母、有机酸、酶制剂、抗生素等都已有一定的研究。利用微生物法勘探石油和天然气,利用微生物提高原油采收率,创造多种微生物采油工艺,应用范围不断扩大。对石油酵母和石油蛋白综合利用的研究工作都已有了很大进展。细菌冶金的研究工作进展很快,分离选育了氧化力强的嗜酸细菌及嗜酸热细菌,并成功地应用于铜、锰、铀、钴、金、镍等矿物的浸出和提取。

三、微生物与环境保护

微生物与环境保护的关系越来越受到当前全人类广泛的重视。目前,由于人类的生产活动,导致环境污染越来越严重,许多有识之士认为,未来的世纪是人类向大自然偿还生态债的世纪,在此过程中,微生物的作用是极其重要的。如微生物是食物链中的重要环节、污水处理中的关键角色、是自然界重要元素循环的主要推动者以及是环境污染和监测的重要指示生物等。

在环境污染的治理方面,我国许多学者利用微生物处理有毒废水的研究和应用进展都很快,选育出一批高效降解污染物的菌株,研究了合理的生物治理工艺,已用微生物处理含酚、氰、有机磷、有机氯、丙烯腈、TNT、硫氰酸盐、石油、重金属、染料等的废水。

(一)微生物对环境保护的有益作用

微生物是自然生态系统的重要组成部分,在有机物质分解转化过程中起主导作用,具有巨大的生物化学活力,能影响农业生态系统中的能量流动和物质转化过程。

环境微生物具有极为丰富的生物多样性,是土壤中各类有机或无机污染物的主要分解者。利用环境微生物技术分解农作物秸秆、家畜粪便、残留农药等工农业污染物,具有效率高、速度快、成本低、反应条件温和以及无二次污染等显著优点。利用微生物处理有机废弃物可生产沼气或乙醇,沼气可作为能源,用于做饭、取暖、照明和发电等,沼液、沼渣又可以作为生物肥料、生物农药;乙醇能代替石油用作燃料。这是生态农业中最重要的一环,实现资源的可持续利用。

采用基因工程构建具有广泛污染物解毒和降解能力的工程菌株,有利于环境微生物技术在工业污染物和农业污染物处理、农田污染生物治理和农业环境保护中发挥更大的作用。

同时,微生物也是环境污染和监测的重要指示生物。

(二)微生物对环境保护的不利影响

在富营养化水体中,蓝细菌和藻类过度生长繁殖形成“水华”或“赤潮”,消耗水体中的氧气,产生毒素,对人畜饮水、水产养殖、海洋生物的生存构成了严重威胁。

四、微生物与农业生产

(一)微生物对农业生产的有利作用

微生物在当代农业生产中具有十分显著的作用,促进了农业的进步。

1. 提高土壤肥力,促进作物生长

微生物是土壤形成的推动者,也是土壤重要的组成成分。土壤中有有机质分解、矿物质转化、腐殖质的形成都离不开微生物的作用。如根际微生物分解根周围土壤中复杂的有机质,使之成为植物营养的有效成分,供给植物必需的养料;微生物的固氮作用是土壤氮素化合物的重要来源,是植物的直接氮素养料和动物的间接氮素养料;还有一些土壤微生物产生生长刺激类或抗生素类物质,刺激植物生长,抑制或杀死土壤中有害微生物等。

2. 生产生物肥料和农药

微生物肥料可增加土壤中氮素或有效磷、钾的含量;促进土壤中一些植物不能直接利用的物质分解;向植物提供生长刺激物质;改善植物营养条件,调控植物生长,从而达到提高产量和改善品质,减少或降低病虫害发生的目的。

与病原微生物所引起的危害相反,有些微生物可防治植物病、虫害,如应用微生物产生的抗生素防治植物病害,应用杀虫微生物杀死农业害虫,还有些微生物能寄生于杂草上致杂草死亡,这是生物防治的重要组成部分。

3. 发酵食品和饲料

利用微生物发酵酿酒、制醋、制酱等在我国已有悠久的历史;利用农副产品的废弃物,如作物秸秆、壳皮、锯木屑、粪肥等生产各种食用菌也是我国传统的产业。

通过微生物把青饲料、粗饲料转化为发酵饲料,既可提高饲料的吸收利用效率,又为畜禽提供免疫因子,改善饲料的适口性;利用酵母菌处理制革厂、罐头厂、酒精厂的有机废水,生产细胞蛋白作为饲料和饵料;应用螺旋藻、光合细菌生产的饲料蛋白质含量高、营养全面,同时具有多种生物活性物质,更是动物的良好医疗保健品。

4. 保护环境,提供能源

微生物广泛地用于污水、生活垃圾的处理,同时微生物也是环境污染和监测的重要指示生物。利用微生物处理有机废弃物同生产沼气或乙醇,沼气可作为能源,用于做饭、取暖、照明和发电等,沼液、沼渣又可以作为生物肥料、生物农药;乙醇能代替石油用作燃料。这是生态农业中最重要的一环,实现资源的可持续利用。

(二)微生物对农业生产的有害影响

微生物在给人类带来福音的同时,也因为能引起动植物病虫害而给人类造成了极大的损失,据估计我国每年由于微生物引起的病害损失总产量在 30% 左右。有些有毒微生物则产生有毒

物质而抑制作物生长;有些微生物寄生于家畜体内,引起流行病;有些微生物产生毒素污染食物及引起人畜中毒等。

五、微生物与农产品加工

(一)微生物对农产品加工的有益作用

微生物可以用作发酵酿酒、制醋、制酱等,这在我国已有悠久的历史。利用农副产品的废弃物,如作物秸秆、壳皮、锯木屑、粪肥等生产各种食用菌也是我国传统的产业;应用螺旋藻、光合细菌生产的饲料,蛋白质含量高、营养全面,同时具有多种生物活性物质,更是动物的良好医疗保健品;利用酵母菌处理制革厂、罐头厂、酒精厂的有机废水,可以生产细胞蛋白作为饲料和饵料;通过微生物把青饲料、粗饲料转化为发酵饲料,既可以提高饲料的吸收利用效率,可以为畜禽提供免疫因子,改善饲料的适口性。

(二)微生物对农产品加工的不利影响

微生物会使粮食、饲料、食品等发生变质,从而失去食用价值;甚至有些微生物会产生如黄曲霉毒素、肉毒素等毒素,污染食物,引起人畜中毒等。

在微生物发酵、食用菌生产、动植物组织培养过程中,也会引起微生物污染,导致纯培养失败。

六、农业微生物学的发展前景

地球上三大生物资源之一的微生物资源是至今尚未充分开发利用的生物资源宝库,应用高科技生物工程技术开发微生物资源,创立微生物产业化利用的工业型农业,被称为“白色农业”,与以水土为主的绿色植物生产——“绿色农业”和以海洋为主的水生农业——“蓝色农业”,合称为“三色农业”。

农业微生物产业,就是利用农业微生物资源及其工程技术实现产业化的工业型农业。其科学基础是“微生物学”,技术基础是“生物工程”。微生物饲料、微生物肥料、微生物农药、微生物能源、微生物食物、微生物医药、微生物生态环境保护剂和微生物新材料等是其主要组成部分。

“农业微生物产业”把传统的“二维结构”农业转变成为现代的“三维结构”新型农业,对有效缓解我国粮食压力、资源短缺、环境污染等问题具有重要的意义,研究农业微生物的农业微生物学的发展前景更是不言而喻。

1. 可有效解决“人畜共粮”等问题,强有力支撑我国粮食安全战略

到 2030 年,我国人口将增长到 16 亿,按人均占有粮食 400 kg 计算,粮食总需求量将达到 6.4 亿吨左右。我国未来粮食的压力主要来自饲料用粮。而农业微生物产业的主导产业“微生物饲料”将为解决我国饲料粮紧缺发挥重要作用。根据农业部《2001—2010 年全国秸秆养畜过腹还田项目发展纲要》要求,到 2010 年,我国用于养畜的秸秆将达到 3.85 亿吨,占秸秆总量的 55%。其中,青贮秸秆 2.5 亿吨(鲜重),氨化及微贮秸秆 1.2 亿吨,节约饲料用粮总量 1.26 亿

吨,计划10年间新增节粮6200多万吨,可以补偿10年间新增人口所需粮食。因此,农业微生物产业将在我国粮食战略中发挥重要作用。

2. 可缓解资源短缺局面,有力促进我国农业的可持续发展

到2020年,种植业或饲料工业至少需要提供7300万吨可饲用粗蛋白质,届时根据我国的生产能力,只能满足需要量的一半。如果将我国每年产的6.5亿吨作物秸秆用于生产蛋白饲料,以产品含20%的蛋白质计算,其生产的总蛋白达1300万吨,从而可极大地缓解我国饲用蛋白资源的短缺。目前,我国在利用作物秸秆、各种废渣等转化为菌体蛋白饲料等领域已进入中试或工厂化生产。由此可以看出,发展农业微生物产业对提高我国资源利用率及可持续发展具有重要作用,农业微生物学也将随着农业微生物产业发展具有十分美好的发展前景。

3. 可提高食品安全性能,有效提升我国农产品的国际竞争力

化肥、农药、兽药和抗生素的广泛应用,在为解决我国粮食和畜产品短缺方面发挥了巨大作用的同时,带给人类农牧产品有害物质残留超标及环境污染和生态失衡等问题也非常严重。农业微生物产业中的微生物农药、微生物肥料、微生物饲料和微生物环境保护剂等产业的兴起和产品与技术的推广应用,对实现绿色食品生产和生态安全具有重要作用。大面积推广优质高效生物农药,是有效控制作物病虫害、提高作物产量与质量、打破国外绿色技术壁垒、增加我国农产品市场竞争力的有效措施之一。微生物肥料能提高肥料利用率,改土培肥作用突出,并可消除因缺乏营养元素而带来的生理病害,增强作物抗病性,在达到农产品高产优质高效益的目标的同时,产生长期良好的生态效应。动物微生态制剂可促进动物生长发育,改善畜产品品质,提高动物抗病性和饲料转化利用率,大幅度降低抗生素和化学兽药的使用量,从而,避免了抗菌药物等兽药在动物体内的残留。当今,我国微生物农药、微生物肥料和微生物饲料添加剂产业正处于起步和发展期,对我国食品和生态安全发挥着日益重要的作用。

随着我国“发展高科技,实现产业化”战略方针的实施,农业微生物产业领域必将在生物农业、微生物肥料、微生物制剂、生物医药、微生物能源、微生物食品以及微生物新材料等方面涌现出更多的高技术、高效益生物技术企业,推动我国国民经济的发展。因此研究农业微生物的农业微生物学也必将随着农业微生物产业发展而具有广阔的发展前景。

七、微生物学与基础理论研究

由于微生物本身的生物学特性和独特的研究方法,微生物已经成为现代生命科学在分子水平、基因水平、基因组水平和后基因组水平研究的基本对象和良好工具。微生物和微生物学的理论与研究技术正在被广泛应用于其他生命科学的研究中,推动着生命科学的日新月异,直接和间接地推动着人类文明的快速发展。现代生命科学的许多前沿成果大多来自于对微生物的研究。

翻开生命科学发展的历史,不难看出,许多生命现象的生理机制是在研究微生物的生命活动中首先被阐明的。例如,德国学者 Bechner 于 1897 年通过酵母无细胞培养液可转化葡萄糖产生酒精和 CO_2 的研究,阐明了生物体内的糖酵解途径,从而奠定了近代酶学基础;Griffith 于 1928 年用肺炎双球菌的转化实验证明了 DNA 是生物遗传的物质基础;Jacob 和 Monod 对 *E. coli* 乳糖操纵子的研究,为基因表达调控开创了先例;以 DNA 重组为标志的生物技术的兴起,首先也