

引 言

现在,我国社会的主要问题之一是三农(农业、农村、农民)问题。其中一个很具体的问题是农业的四大污染,即化肥、农药、秸秆、废农膜对环境造成的污染。同时,由于城市人口的膨胀,城市的垃圾不但数量大,而且处理也难,城市的污水污泥的数量也在逐年增大,特别是污水厂的污泥一般都没有很好的处理。这些,都是急需要解决的环保问题,它关系到我国人民的健康,关系到我国社会、经济的可持续发展。

随着人口的增加,粮食的需求量不断增加,因此化肥、农药等使用量也相应增加,这样就加剧了环境污染,环境污染又危及了人类自身的健康和生存。我国是世界第一人口大国,也是第一农业大国,所以我们面临的忧患尤为突出。

到 2001 年底,全国农作物播种面积为 1.56 亿 hm^2 ,约合 23.4 亿亩,化肥使用量为 4 146 万 t(按 100%含量计),其中尿素施用量为 3 000 万 t,复合肥施用量为 2 500 万 t,其它肥料(如有机肥、生物肥等)施用量为 300~400 万 t。据统计,1984—1994 年的 10 年时间里,我国的化肥使用量增加了近一倍,而粮食产量仅增产 9.1%;每公顷平均施用化肥约 400kg(亩均 26.6kg)欧美平均每公顷 225kg(亩均 15kg),相比多用了 77%,即达到了世界平均量的 1.6 倍,氮量损失率达 45%以上,相当于每年白扔 200 多亿元。

农药有一千多个品种,施用量达到二十多万 t,有的甚至是违禁农药,一些化学污染物进入食物链难以消除。例如北京农产品市场抽查结果表明,有 18%的农产品的有害残留物超过国家标

准，其中食品超标占 33%，蔬菜超标占 20%，水果超标占 18.7%，肉类超标占 17.6%。

我国农作物秸秆约 6.5 亿 t，全国平均利用率约 40%，大多数未经利用，其中相当一部分焚烧掉了，造成对环境和大气污染，有的地方季节性污染相当严重。例如 1997 年 4 月，成都双流国际机场因周围农民大量焚烧麦秆，浓烟笼罩，能见度极低，机场两度被迫关闭。1997 年 9 月，石家庄市也因焚烧秸秆浓烟蔽日，机场、高速公路被迫关闭，并使呼吸道病和眼疾病者叫苦不迭。

我国农用塑料每年使用量约 200~250 万 t，大多数不是绿色农业用膜。作为绿色农业的农膜是指可降解新型农膜，主要有以下几种：

蓝色膜，保温性好，透光率高于普通膜。用于水稻育秧可使其苗壮、根多、成秧率高。用于蔬菜、花生、棉花、草莓和马铃薯等作物覆盖，对提高产量和优化品质有明显的作用。

黑色膜，能有效防治杂草，但增温性能不如透明膜。主要用于多草地区。

绿色膜，绿色光增加，其它光的透过率减少，抑制杂草生长。

银灰色膜，具有反射紫外线、驱避蚜虫的作用，也有保持水土和除草的作用。

银色反光膜，具有隔热、反射阳光和降低地温的作用，用于果园覆盖。

银黑双面膜，具有降低地温、保水、灭草等作用。

降解膜，是针对废弃农膜造成的“白色污染”而研制的。降解膜可分为光降解膜、生物降解膜及光和生物联合降解膜等多种形式。凝胶淀粉与乙烯共聚物生产的吹塑农膜，已占美国农膜用量的 20%。我国在淀粉膜和草纤维膜的开发研究方面，取得了重大进展，已研制出样品。

无滴膜，是将无滴助剂加入聚乙烯的农膜中，增加农膜的表

面活性，提高聚乙烯的临界表面张力，从而使聚凝在大棚内的微粒水珠分开，形成一层极薄的透明水膜并顺着膜壁向下流入地面，起到防雾的目的，减少光的反射、散射，提高了透光率和棚内温度，使膜内水滴不再落到作物上，避免作物腐烂。

我国农产品相当一部分存在质量问题。以蔬菜为例，种植面积超过 93 万 hm^2 ，年产量超过 3.2 亿 t，人均占有量超过 300kg。据北京农产品市场抽查结果表明，18% 的农产品有害残留物超过国家标准，29% 的农产品亚硝酸盐超标，蔬菜的不合格率达到 47%。

农产品不合格主要是亚硝酸盐、有毒有害元素和农药残留超标。原因如下：

过量施用氮肥，引起土壤中硝酸盐的累积，造成亚硝酸盐累积超标，无公害产品规定亚硝酸盐含量 $\leq 4\text{mg/kg}$ 水和土壤中 Cd、Hg、As、Pb、Cr 等有毒有害金属或非金属元素超过国家标准，国家标准已予限量；空气中污染物达 100 多种，对总悬浮颗粒（TSP）、 SO_2 、 NO_x 的浓度作了限定；农药残留超标已采取措施；禁止使用的化学农药：其中有机类有六六六、DDT、三氯杀螨醇等 8 种；有机磷类有甲胺磷、乐果等 35 种；氨基甲酸酯类有包括呋喃丹、速灭威等 5 种；熏蒸剂有二溴乙烷、氯化钴等 4 种及其它杀虫剂 19 种，共计 71 种。

如何走出怪圈，摆脱困境，只有走绿色科技、生态农业和可持续发展道路，历史的今天，给广大科学工作者带来了新的任务和契机。

绿色化学（Green Chemistry）又称环境无害化学（Environmentally Benign Chemistry）、环境友好化学（Environmentally Friendly Chemistry）、清洁化学（Clean Chemistry）。最早提出绿色化学概念的是美国人，美国化学学会会长安德森称绿色化学是“眼光放在了流程终端控制废物之上。它要求我们注视化学生产的整个生命周期，去创造和选用新的生

产方法，能更有效地生产出有用的产品，而尽可能地减少废物或者没有废物。”朱清时院士和闵恩泽院士等中国科学家把这一概念引入到中国。

化学在农药、聚合物、材料科学、去污剂、石油添加剂、水处理、废物处置等方面的应用和开发都对我们生活质量的改善和提高作出了贡献。但这些进步都伴有负面影响——环境污染。通过建立和发展绿色化学的概念对付污染问题，也就是通过现有和开发的新技术，解决环境污染问题与致力于开发对环境无害化和无污染的生产工艺及其产品。

随着生产的发展及人类环保意识的增强，绿色化学正发展成为化工生产的主流战略。据杜邦公司副总裁特帕说，在未来 25 年内，绿色化学的科研和生产将集中在以下几个方面：

- (1) 减少排放和产生废物，目标是零排放；
- (2) 提高材料、能源和水的使用效率，大量使用再生材料，更多地依靠可再生资源；
- (3) 更安全的流程、分配和产品；
- (4) 通过诸如生命周期评价之类的手段，减少污染对总系统的影响；
- (5) 为提取的每个单位资源创造更多的消费价值和社会价值；
- (6) 用绿色化学的方法或产品去改变社会生活。

绿色化学将成为可持续发展的核心战略之一，随着时间的推移和技术的进步，它将不再是一种奢侈品。一些国际大公司正在积极地研究开发绿色技术，显然这对环境和企业都有利。

绿色化学的基本涵义就是实现整个化学领域的绿色化。

绿色化学的基础科学是研究生物物质的结构与转化过程中的化学问题。

绿色化学的根本任务就是促进生物物质转化的速率和效率。例如：酿酒就是一种利用微生物进行发酵把淀粉和纤维素变成酒精（乙醇）的过程。现在的问题是如何使这些淀粉或纤维素高效率、

高速率地转化为酒精，既可作为能源，又可以作为饮料。

绿色化学研究的任务之一是不使用自然生态系统不能接受的物质，如化肥、化学农药、不能降解的塑料等，研究和创造出自然生态系统能够接受的新物质。如对环境友好的肥料、生物农药、可降解塑料等。

任务之二是修复破坏了的自然环境，维系生态平衡，如城市污水污泥的无害化处理，各种环境污染的治理，生活垃圾的综合处理，减少化肥、农药的使用量等都属于这个范畴。

任务之三是加快物质循环中各个环节能量和物质转化的速率和效率。

总之，绿色化学就是解决人类所急需解决的化学问题，最终实现造福人类。

由此不难看出绿色化学是一个很重要领域，它进行生态农业、环境保护及农副产品（特别是绿色食品、无公害食品）深加工方面的基础研究、应用研究和新产品开发以及实现产业化。

为了适应绿色科学技术的飞速发展步伐，1998 年中国科学技术大学成立了“中国科学技术大学绿色科学技术中心”。该中心在全国率先开出了《绿色化学》等课程，并成立了中国科学院选键化学研究开放实验室、生物质洁净能源实验室及绿色化学研究室等。中国科学技术大学全校有 6 个系 40 多位教授在从事相关领域的研究，先后分别在合肥、广州、济南等地召开了五届国际性的绿色化学科技研讨会，一大批基础理论与应用研究项目正在研究与开发之中。

此外，全国还有很多大专院校与科研机构的某些研究组也在研究与绿色化学有关的问题。

生态农业 它是可持续发展的一个重要方面，也符合环保与生态的需要。为了实现农业可持续发展，必须要一系列的农业高新技术作为支撑，这样才能为生态农业提供技术保障。

生态农业是生态工程在农业生产实践中的应用，它是总结传

统农业的生产经验，并根据经济生态学原理和系统工程的优化方法而进行的新型农业发展模式。

具体地说：有效地运用生态系统中生物群落的共生原理，多种成分间的相互协调和互补的功能原理，以及物质和能量多层次多途径的利用和转化原理，建立起来的能够合理利用自然资源、保持生态稳定和持续高效发展的农业就称之为生态农业。

生态农业的目的是：提高太阳能的利用率、生物能的转化率、农副业废弃物的再生循环利用率，因地制宜地充分利用自然资源，使农、林、牧、渔、加工等各行业得到协调健康地发展（见图 1 和图 2）。菲律宾有一个典型的生态农场叫马雅农场，它是由庄稼地、猪场、牛场、饲料加工厂、沼气厂、农牧产品加工厂和污泥处理池及养鱼池等组成，农场的废弃物在循环过程中得到了充分、有效地利用（见图 3）。除了将有关资源（包括废弃物资源）进行综合利用外，生态农业还须减少化肥与农药的使用量，将环境污染减少到最低限度，使农业与环境协调发展。因此生态农业是今后农业的发展方向。

图 3 表明，该农场每年可生产 1 200t 饲料原料和可供灌溉的肥料水及 66 万 m^3 沼气。沼气可满足农场工业生产中动力消耗的 60% 和生活等能耗的 100%，使生物能得到充分的利用。肥料等植物养分可以还田，控制了庄稼废弃物和人畜粪便对大气和水体的污染，完全实现了能源等资源的综合利用及物质和能量的闭路循环。国内外专家学者对生态农业的内容提法各有不同，但是，主要指多色农业技术，包括绿色、蓝色和白色农业技术。

（1）绿色农业 主要是指生态农业技术和可持续发展技术，也就是说对环境无害化或对环境友好的技术。它利用现代科学技术知识，从调整和优化农业结构入手，充分利用资源，实现高效的物质能量循环和深层次的加工与转化，保持人口、环境、生态与经济的协调发展。当前绿色农业主要有四大领域：肥料、农药、农膜和秸秆综合利用。

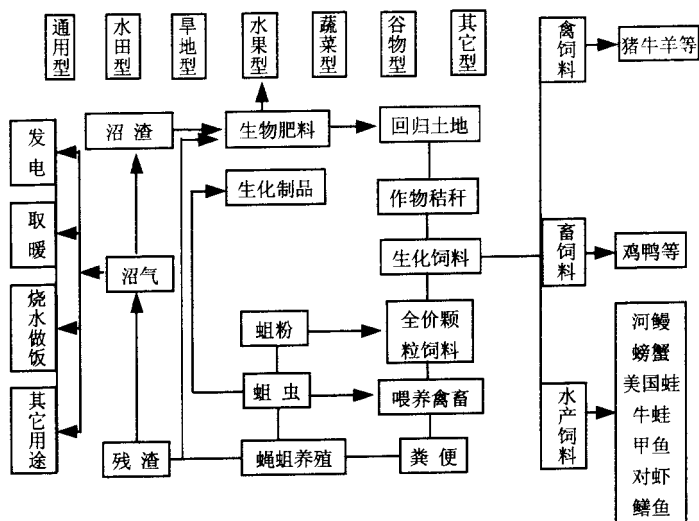


图1 沼气、微生物肥、生化饲料与蝇蛆养殖生态循环利用示意图

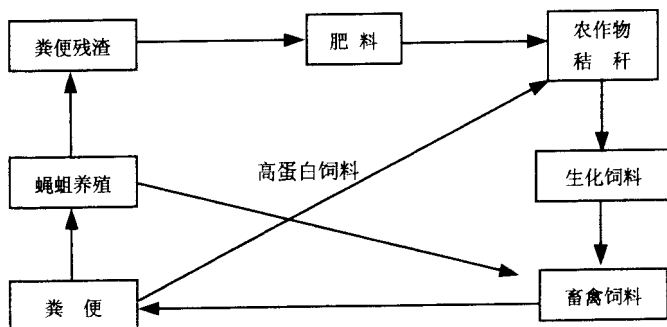


图2 蝇蛆养殖、肥料、生化饲料生态循环利用示意图

世纪议程”的两大原则：一是可持续发展战略；二是与保护生态环境相协调。白色农业，将由植物、动物资源组成“二维结构”的传统农业，调整为植物、动物、微生物资源组成的“三维结构”的新农业，就是实现生物资源良性循环、综合利用的新型农业。

●白色农业是解决粮食紧缺的有效途径。白色农业的主题是开发微生物食品、饲料和其它产品，据联合国统计，如减少 10% 的畜牧业饲料用粮，就能养活全球人口 26 个月。

●白色农业是 21 世纪农业产业的旗帜。

农业高新技术有着丰富的内涵。从较高层次上概括及技术构成的内容看，可将农业高新技术分为三大类：即现代生物技术，现代工程高新技术和现代管理高新技术。具体来讲，农业高新技术至少应包括 6 个领域：农业生物技术、信息农业技术、核与辐射农业技术、设施农业技术、多色农业技术、移植及常规技术组装配套。

农业生物技术 它是定向地、有目的地进行农业生物遗传改良和创新的一门高新技术，包括基因技术、细胞技术、酶技术和发酵技术等。应用这一技术可以不断为农业生产提供新品种、新方法、新资源。如细胞工程技术中的试管育苗快繁和茎尖培养脱毒技术，是利用植物任一部分细胞所具有的全能性，经人工培养、处理、发育成一个完整个体的技术。如香蕉、柑橘、草莓、西瓜、甘薯、马铃薯脱毒试管已大规模推广，取得显著效益。

信息农业技术 它主要包括农业决策支持系统的研制与开发、农业信息化技术、农业资源管理与监测专家系统研制、专业实用技术信息系统及专家系统的研制，全国共享的农业经济、资源和科技信息网络等。

核与辐射农业技术 它是农业高新技术的一个重要领域，为农作物品种改良创造了一个技术手段，为农副产品的延贮、保鲜开辟了一条新的有效途径，为解决一些重大农业技术问题提供了新方法。农产品辐射延贮、保鲜是继热处理、脱水、冷冻、化防

等传统保藏法之后的一项新技术，它既节约能源，又避免化学残留与污染。

设施农业技术 它主要指工厂化种植和养殖、计算机农业控制等现代技术设施所装备的专业化生产技术。棚膜栽培、节能日光温室、无土栽培等均属设施农业。

它特别适宜于蔬菜、园艺作物的生产和繁殖，能大幅度地提高水、土、热、气的利用率，因此，它的经济、社会与生态效益十分明显。

多色农业技术 多色农业技术包括绿色、蓝色和白色农业技术。

移植及常规技术组装配套 工业和国防等其它行业高新技术向农业的移植，以及各种常规农业技术融合、交叉、渗透，或者组装与高效地配置，组成一个有机复合技术群，从而达到整体大于个别之和的效果。这种综合或组装，就是系统集成，就是创造或创新。综合技术群的作用，对农业高新技术的丰富与发展将产生重要的影响。

第一章 绿色肥料

绿色环保是 21 世纪永恒的主题。

人类在 20 世纪科学技术的发展面前，那些目不暇接、五彩缤纷的技术成就带来的震撼是双重性的：它既是创造人类美好未来的动力，也是使人类生存环境恶化的帮凶。

从第一次工业革命开始，科学技术带来了经济的高速增长，物质财富极大地丰富，同时也带来了环境的污染、能源短缺和生态失衡等。

在化学工业中与人类生存关系最密切的莫过于化肥。“民以食为天”，肥料在农业生产中的重要作用是不言而喻的。随着世界人口的增加，不断提高农作物产量是人类发展史上一个永恒的主题。联合国粮农组织对全世界化肥肥效试验的统计结果是：施用 1kg 化肥可以增加 5~10kg 粮食(当然也是有限度的)，可见肥料需求和生产，在农业发展中的地位十分重要。

化肥是农业生产的“必需”产品，化肥工业的特点则是：岁月月地进行生产和销售。从这个意义上讲，化肥是化学工业中产量最大的产品之一。生产化肥需要耗费大量的能源，能源的消耗必然会污染大气，破坏臭氧层，造成温室效应，导致世界气候异常变化，增加空气中 NO_x 和可吸入悬浮颗粒及形成酸雨等，损害人类的身体健康。

化肥施用过程中，由于挥发、溶淋，施入土壤中的化肥被农作物吸收利用的比例不高，国内外的统计结果显示，氮肥的利用率国外为 50%~60%，国内为 30%~50%；磷肥利用率国外为 50%~60%，国内为 40%；钾肥的利用率一般为 30%~40%。由

于化学肥料被农作物吸收利用的比例不高，未被利用的化肥如果沉积在土壤中，则造成农田污染，土壤板结使土壤中微生物数量减少，有机质含量下降，破坏土壤团粒结构。由于挥发和迁移，使氮、磷等进入大气、水体，地下水和土壤中的亚硝酸盐超标，使得农作物的果实被污染；如果被溶淋，未被利用的化肥将进入水体，渗入地下水，流入江河湖海，不但造成资源和能源的浪费，而且造成对水系的非点源污染和周围环境的严重污染。

在 20 世纪 70 年代，美国、英国、法国、日本等发达国家，为摆脱过量使用化学肥料的困扰，提出了要发展生态农业，高效农业，开发绿色食品经济农业。在肥料的施用又重新对有机质肥料、生物肥料有着极大的兴趣。在施用肥料的历史上从天然的农家有机质肥料，发展到施用化学肥料，现又回归到施用有机质肥料、化学肥料、微生物菌肥等高度复合的高效的新型绿色肥料上。

第一节 肥料的发展趋势

我国肥料的发展大致上经历了四代：第一代主要是小农经济式的以使用农家肥为主的肥料时代；第二代主要是生产和使用化学肥料的时代；第三代主要是生产和使用复合肥料的时代；第四代是以生物肥、有机肥、液体肥为代表的产品多样化的肥料生产和使用的时代。

欧美及日本等发达国家 20 世纪 50 年代就开始发展复合肥生产，70 年代即开始发展生物肥和液体肥等。从它们的肥料发展趋势看，主要向着优质、高效、多品种的方向发展。

一、异彩纷呈的肥料品种

肥料品种很多，主要有各种复合肥、绿色肥料、生物肥料、

有机肥料、液体肥料等类别。

（一）高浓度复合肥

如美国复合肥氮磷钾的有效含量 1950 年为 20%，1966 年为 30%，1976 年提高到 43%，现在已发展到 45%。也有发展高浓度液体复合肥的。高浓度复合肥的特点是：浓度高，施用量少，节省运输成本和劳动力，是第三代肥料的代表。

（二）专用型复合肥

它是为气候土壤条件复杂和某些作物对营养有特殊要求而生产的专用肥，也是目前复合肥市场的主要品种。其主要特点是根据植物营养的需要，包括某些植物对某些特定矿物质（即微量元素）的需要，将 N、P、K 三种主要元素根据不同作物的需要量进行科学、合理的组合，有的加上 B、Mn、Fe、Zn、Cu 和 Mo 等一种或多种微量元素作为对农作物的调控，具有比单纯施用化肥或组合施用化肥损失小，更加经济，且作物吸收利用营养的时间更长一些。因此是第三代肥料的典型代表。

（三）绿色肥料

绿色肥料是由有机质肥料、化学肥料和生物菌组成的新型复合肥料。在生物菌中是以固氮菌、解磷菌、解钾菌等微生物为主体的生物菌群体，有机质肥料和化学肥料为生物菌群体提供了充分养料和生存、繁殖的良好生态环境。有机质肥料和化学肥料大部分先被微生物分解吸收、同化后再排泄出供给农作物吸收利用，这样将会大幅度提高化学肥料被农作物吸收利用的程度，充分地利用了资源。施用绿色肥料可以改良土壤，在农作物根际形成优势生物菌群体、抑制和减少病原菌在植物上的繁殖和损害的机会，增强了对有害病原菌产生拮抗作用，具有减少和消除农作物遭受病害的功效，可以起到避免或减少使用农药造成对周围环

境和对农产品的毒害与污染作用。绿色肥料是一种回归自然生态、无公害、无污染、无排泄残留毒物的高效农作物肥料，它完全适应发展生态农业、绿色食品与无公害食品的要求。

绿色肥料还处在基础理论研究和工程开发阶段。首先要采用基因工程培育和筛选适宜的固氮、解磷、解钾微生物菌种，这些微生物菌在能量释放时产生的有机酸能溶解磷灰石、钾长石类矿物，使磷灰石、钾长石等难溶性矿物，经微生物作用形成能被农作物吸收的磷与钾养分。一般动植物遗体、排泄物和分泌物含有有害微生物，这些有害微生物会对有益的微生物菌产生拮抗作用，也会影响有益微生物菌的生存、繁殖。因此需采用特殊灭菌技术，消除有害菌而又不伤害有益的微生物菌和不破坏有机质的成分，使有机质在绿色肥料中，给有益微生物菌提供生存环境，同时也给农作物提供一种长效肥源和改良土壤的作用。由于在有机质肥料中所含的 N、P 与 K 等营养元素的量有限，故在绿色肥料中还应掺配大量的化学肥料，这又出现微生物菌与化学肥料相匹配的问题。微生物细胞膜内压与盐度值较高的化学肥料微粒表面渗透压有关，存在着产生渗透相平衡的物理化学关系。解决问题，一方面可以对化学肥料进行调理改性，使其能与有益的微生物菌共存；另一方面也应培育和筛选出具有耐酸碱性能、抗高盐度性能、抗有害细菌能力强的微生物菌株。这是第四代肥料的典型代表，本节的应用实例——多元生物有机肥就是这类肥料的代表。

(四) 生物肥料

全营养生物肥料，即生物协调肥料，品种有根瘤菌肥、钾细菌肥、磷细菌肥、固氮菌肥、生物叶面肥、多菌复合生物有机肥和其它生物有机肥等（后 3 种肥料也可归入绿色肥料）。21 世纪是生物工程世纪，生物工程技术在农业上的应用尤其受到重视，因此生产无公害食品、绿色食品或有机食品等需要绿色肥料、有

机肥料和生物肥料等无公害肥料。发达国家绿色食品和有机食品（如水果、蔬菜、粮食等）的价格是普通食品 2~3 倍的价格。既要增产又要优质，用什么肥料呢？显然绿色肥料和生物肥料是首选。多菌复合生物有机肥和其它生物有机肥也有人称为全营养生物肥料，这类全营养生物肥料在国外 70 年代已开始起步，到目前为止，生物肥和全营养生物肥市场份额已达 15%~30% 以上。下面介绍几种常见的微生物肥料（有关生产工艺参见下面第四节的应用实例）。

1. 微生物钾肥

微生物钾肥又称硅酸盐细菌肥，简称钾菌肥。钾是一种不同于氮、碳、磷和硫等元素的植物营养元素，它基本不参与植物体的组成，而只是在代谢中发挥重要作用，促进植物生长发育，增强抗寒、抗旱、抗倒伏的能力，提高农作物的品质和产量。土壤里总钾量的 98% 是难溶性钾，它们不能被植物直接利用。有一些微生物可以分解难溶性钾产生有效钾，提高土壤有效钾含量，供植物利用。

目前采用的生产菌种大多是胶质芽孢杆菌浅胶冻样芽孢杆菌，主要用于缺钾地区和对钾需要量较大的作物。近几年国内一些地区在小麦、玉米、甘蔗、花生和烟草等作物中施用钾菌肥料，取得了明显的效果。施用钾菌肥后，土壤中有效钾、磷含量显著增多，作物植株的钾含量增高，籽粒产量增加（见表 1-1）。同时植物抗病害及抗逆能力有所增强。

烟草是一种喜钾作物，是云南目前的主要经济支柱。钾是提高烟叶质量的关键因素之一，在云南省 7 个烟草种植区施用钾菌肥料的实验表明，每亩施 0.5kg 微生物钾肥和 15kg 硫酸钾，比单施 15kg 或 30kg 硫酸钾的效果明显增加。施用微生物钾肥的烟草表现出长势稳健，抗病害、抗干旱以及落黄好，易烘烤等许多优良特点，烟叶中含钾量提高，上等烟比对照组增加 5%~8%，亩

产值比对照组增加 7%~25.1%。这些结果表明,施用微生物钾肥能提高烤烟产量和质量,达到增产、增值的目的。

表 1-1 施用微生物钾肥对水稻茎秆含钾量与产量的影响表

处 理	植株含量 (干物质)		稻谷产量	
	$\times 10^{-6}$	增加%	kg/hm ²	增加%
施用微生物钾肥	25 230	19	22.5	13
未施用微生物钾肥	21 210	—	19.9	—

引自徐丽华、姜成林著《微生物资源学》,科学出版社,1997年。

2. 微生物氮肥

微生物氮肥包括固氮菌和根瘤菌两类微生物肥料。微生物固氮肥料是微生物肥料中施用历史最久、应用范围最广的一类。古代在新种植豆科植物的土地上实行“客土法”,就是原始的接种根瘤菌剂的措施。20 世纪初,国外就有根瘤菌剂等商品生产。我国建国初期,在华北地区最早推广应用花生根瘤接种剂,接着在东北推广了大豆根瘤菌接种剂,长江流域应用紫云英、苜蓿、苕子等根瘤菌剂。目前根瘤菌接种剂已在全国各地广泛应用,成为栽培豆科植物中一项重要的农业技术。

国内目前生产的微生物固氮肥料主要有以下几类:根瘤菌肥料、固氮菌肥料、固氮蓝细菌肥料、弗兰克氏菌 (*Frankia*) 肥料。

3. 微生物磷肥

此类菌肥采用优良的解磷和溶磷微生物,经人工培养并制成菌剂,施入田间,提高土壤中可溶性磷酸盐的含量,为农作物生长提供有效态磷元素。目前采用最多的磷细菌肥料菌种有解磷巨大芽孢菌、解磷假单孢菌和无色杆菌等。

实验表明施用磷细菌肥与单施化学磷肥相比,小麦增产 18%,用其替代 50%~70%的化学磷肥时,玉米增产 12%~14%;

用其代替 50%、70%、100% 化学磷肥时，大豆分别增产 12.86%、13.23%、14.13%。

4. 菌根菌肥

由于菌根菌具有促进植物吸收磷素、增加植物生长量和抗逆性等优点，因此越来越受到人们的重视。但因菌根菌的离体纯培养至今尚未成功，给研究和应用带来了很大的困难。目前多采用浸染了菌根菌的植根作为接种剂，施入田间感染植物。

(1) 菌根真菌的富集 由于菌根真菌还不能离体培养，现常用灭菌土壤盆栽培养活植株，接种菌根真菌孢子或侵染根片段，让菌根真菌在活的根上侵染并得到繁殖。常见方法有以下四种：一是孢子法。用湿筛法从土壤中获得菌根真菌的厚垣孢子，接种于盆栽幼苗；二是侵染根法。取侵染了菌根菌的植物根系，用水洗干净，剪成 1cm 长的小段，风干后接种到盆栽幼苗的根系附近；三是浸染植株法。将已浸染菌根菌的幼苗整株挖出，洗净根部，重新植入灭菌土壤中。一段时间后，浸染率会逐渐提高，并形成孢子；四是诱导法。采用已形成菌根的植株根际土做盆栽，种植容易感染的植物，待植株被感染后，再将植株取出洗净根系，移至灭菌土中栽培。实验表明菌根真菌的大量孢子和菌丝粘附在寄主植物的根表和存在于根的皮层中，因此菌根菌繁殖体主要在根部和根际土中。应用时最好选用浸染根法接种，其浸染速率最快，菌龄 20d 即可达浸染高峰，浸染率高达 60% 以上。

(2) 菌根菌的接种 接种菌根菌剂（包括孢子、菌丝和被侵染根段）的方法很多，归纳起来有以下几种：一是苗床预接种法，将菌剂预先接种在苗床上，待幼苗被浸染形成了共生体系后，再移植到大田，此方法有利于同土著菌种的竞争；二是种子球化法，把菌剂与草炭或粘土掺和在一起，加入适量的粘合剂（如 4% 甲基纤维素）与种子拌和，使菌剂和种子滚成小球状，晾干后播种；三是流体沟施法，在菌剂中加入 4% 的甲基纤维素，制成悬