

梅汝鸿 主编



Yield — increasing Bacteria

植物微生物生态制剂 ——增产菌

农业出版社

主 编 梅汝鸿
编写者 梅汝鸿 计平生
吴加志 严志农

目 录

第一章 概述	1
第一节 增产菌应用概况	1
第二节 增产菌作用的主要特点	4
第三节 增产菌的基本特性	8
第二章 植物微生物学——增产菌研究的理论基础	12
第一节 植物微生物学和微生态防治及微生态制剂	12
第二节 植物微生物学产生的历史	24
第三章 增产菌对作物生长发育和代谢的影响	32
第一节 增产菌对作物生长发育的影响	32
第二节 增产菌对作物生理代谢的影响	37
第三节 增产菌对作物营养吸收的影响	42
第四章 增产菌的作用机理	48
第一节 增产菌作用的基本原理	48
第二节 增产菌应用后在植物体上的定居和消长	52
第三节 增产菌对植物体相关的有害微生物的影响	58
第四节 增产菌直接致益作物生长的生理作用	62
第五章 增产菌的应用	69
第一节 应用技术和注意事项	69
第二节 增产菌在主要作物上的应用	75
第六章 增产菌的田间试验方法	98
第一节 田间试验的目的和要求	98
第二节 田间试验的设计和布置	101

第三节 取样方法及产量测定	108
第四节 增产菌田间试验结果的统计分析	112
第七章 增产菌的推广	122
第一节 概论	122
第二节 增产菌研究开发联合体	123
第三节 增产菌的推广方法	134
第四节 利用现代传播手段宣传推广增产菌	138
结束语——展望	140
附录一 增产菌完成“七五”国家科技攻关项目验收 评价及鉴定证书	143
附录二 几种主要作物应用增产菌现场评议书	145
附录三 植物微生态制剂——增产菌获发明专利权	163
附录四 国家各部委给予增产菌研究开发推广列项及 增产菌科技成果获奖情况	168
附录五 一些报刊有关增产菌的文章索引	169
参考文献	176

第一章 概 述

第一节 增产菌应用概况

植物微生态制剂——植物保健益菌——增产菌[Yield increasing bacteria(YIB)]是北京农业大学已故教授 陈 延熙先生及植物生态工程研究所的同志经过多年教学、科研、生产实践研制出来的植物保健益菌。它标志我国生物技术的重大突破，开拓了农学研究的新领域，是农业增产的新途径；也标志我国植物微生态学的确立。

增产菌是在前人研究的基础上，经过一个漫长的历史时

表1 增产菌的应用面积

年 份	应用作物种类	面 积		累计面积	
		公顷	亩	公顷	亩
1979	3	0.14	2	0.14	2
1980	9	99.4	148	100.4	150
1981	14	425.4	635	526.1	785
1982	29	335.1	4576	3377	5361
1983	34	4517	6742	8394	12103
1984	40	26290	39239	34684	51342
1985	42	46230	68875	80914	12万
1986	48	0.8百万	130(万)	0.11百万	142万
1987	49	33.6百万	5000(万)	34.4百万	5142万
1988	50	67百万	1 亿	101.4百万	1.5亿
1989	52	76.7百万	1.15亿	178.1百万	2.65亿
1990	54	85.3百万	1.28亿	262.0百万	3.93亿

期，进行了理论研究，开展了实验室及温室试验，于1979年正式进入田间试验，1986年进入示范推广阶段，到1990年累计已在全国30个省、市、自治区 3.9 亿亩土地、50余种作物上得到应用(表1)。

增产菌的应用面积，是通过1987年19个省(区)抽样调查，以及1988—1989年执行国家“丰收计划”两年过程中，每年年终各地进行专家和领导验收的结果推算出来的。

增产菌可以应用在水稻、小麦、玉米、谷子、甘薯、棉

表 2 主要作物应用增产菌后的增产效果

作 物	地 区	平均增产百分率 (%)
水稻	湖南等21省(市)	14.7
小麦	河南等12省(市)	10.1
玉米	吉林、河北、天津、北京、山西、山东	9.8
甘薯	安徽、山东、河南、四川、广东、河北	17.2
谷子	河北、辽宁、山西	10.3
土豆	河北、北京、山东、四川、安徽	18.1
棉花	湖北等11省(市)	12.0
甜菜	黑龙江等6省(市)	17.8
花生	北京、山东、广东、四川、湖北	14.3
大豆	黑龙江、安徽等13省(市)	12.6
油菜	安徽等13省(市)	13.7
西瓜	北京、河南、甘肃、山西、新疆	15.5
茶叶	安徽、贵州、湖南、重庆	13.9
烟草	云南、贵州、湖南、山东、四川	17.3
人参	吉林、辽宁、黑龙江	14.6
根菜	北京等16省(市)	18.8
叶菜	天津等14省(市)	14.7
果菜	上海等17省(市)	10.5
苹果	山东、辽宁、北京等8省(市)	10.7
柑桔	广东、湖南等7省(市)	12.3

花、油菜、花生、大豆、甜菜、蔬菜、西瓜、苹果、柑桔、板栗、茶叶、烟草、人参、桑树及紫云英等，不论对哪种作物都有增产效果(表2)。

1990年据18个省(市)不完全统计，一些作物使用增产菌的面积及增产率如表3所示。

表3 1990年18个省市使用增产菌的面积及增产情况

作物	使用面积(万亩)	增产率(%)
小麦	7.07	8.5—16.0
水稻	3102.9	8.0—16.1
玉米	718.0	5.8—11.3
高粱	15.5	5.2—10.5
甘薯	133.0	15.4—19.2
棉花	261.0	6.0—12.9
油菜	56.1	11.0—18.2
大豆	316.0	7.3—16.3
甜菜	214.0	14.9—20.2
西瓜	23.0	15.6—18.3
蔬菜	105.0	13.5—35.1
水果	5.0	
茶叶	17.0	
烟草	6.1	
紫云英	3.0	
人参	0.5	
其他	116.0	

使用增产菌后，农作物的品质明显提高(表4)。

多年来，主要作物应用增产菌后，表现出明显的防治病害效果(表5)。

农作物应用增产菌后，除抗病性有明显的提高外，在其

表4 增产菌对提高作物品质的作用

作物种类	主要品质性状改善的情况
水稻	氨基酸增加18.4%，赖氨酸增加12.8%，淀粉增加24.1%，垩白大小下降16.3%，垩白率下降8.6%
小麦	氨基酸总量增加3.48%，赖氨酸增加6.4%，蛋白质增加8.1%
玉米	氨基酸增加27.4%，脂肪增加27.2%
甘薯	淀粉增加22.3%，含糖量增加22.6%
棉花	衣分增加1.5%，纤维长度可增长2mm，短绒减少21.3%
油菜	蛋白质增加3.5%，含油量增加2.1—6.6%，亚油酸增加4.1%，棕榈酸增加4.7%，硫甙含量下降8.9%
花生	果形整齐，花生仁大小均匀，含油量增加2.5—5.1%
大豆	籽粒饱满，灰斑病粒少，含油量增加3%左右
甜菜	含糖增加0.3—2.1度，表面光滑，须根少
甘蔗	含糖增加1.1—1.4度
茶叶	苔头嫩、叶厚、味浓，鞣酸增加15%
烟草	尼古丁含量增加10%左右，叶片变厚，烟等级提高1—3级
人参	皂甙含量增加15%左右，三年生相当四年生皂甙含量
水果	表面光泽，着色好，个体均匀，硬度增强，耐贮藏
蔬菜	叶色鲜嫩，粗纤维少，脆甜，耐贮藏

它抗逆性方面也有明显的增强。

12

第二节 增产菌作用的主要特点

增产菌具有许多的特点，归纳起来，有四个方面：

一、高效的多功能性

增产菌是植物的保健益菌，它有综合的、高效的多功能性。

(一)促进植物生长发育 它能促进发芽，促进根系生长，促进作物分蘖，促进作物穗分化，促进作物粒重增加。

表5 增产菌防治病害的效果

病 名	地 区	发病率下降比例 %
水稻纹枯病	北京、湖南、湖北、安徽、四川	46.8
水稻白叶枯病	湖南、黑龙江、湖北、安徽、广东	85.5
小麦全蚀病	山东、河北、甘肃、辽宁、内蒙古	53.7
小麦赤霉病	浙江、湖南、湖北、江苏、河南	60.2
小麦纹枯病	山东、浙江、安徽、湖北、江苏	61.8
玉米丝黑穗病	河北、北京、吉林、山西、陕西、河南	62.9
谷子白发病	河北、北京、山西、辽宁、陕西	65.0
甘薯根腐病	山东、河北、安徽、四川	56.5
马铃薯黑斑病	河北、甘肃、黑龙江、内蒙古、新疆	56.5
棉花萎蔫病	北京、河北、浙江、湖北、湖南	50.5
棉花苗病	北京、浙江、湖北、湖南、河北	70.2
黄瓜霜霉病	北京、内蒙古、天津、河北、辽宁	36.2
苹果炭疽病	北京、天津、安徽、江苏、辽宁	80.3
板栗干腐病	北京、河北、天津、山东	61.6

(二)增加植物生物产量 我们使用增产菌后,从生物产量增加情况来看,营养器官增产幅度较生殖器官大,双子叶植物增产幅度较单子叶植物大。例如,稻麦应用增产菌增产幅度在5—10%,油菜、花生应用增产菌增产幅度在10—15%,而甘薯、萝卜等应用增产菌增产幅度在15%以上。

(三)改进植物品质,提高产品质量 目前应用的增产菌在提高产品质量上有多种作用,这是在增加生物量基础上兼有的改善品质的功能。增糖菌是专为提高产品含糖量的菌株,具有提高产品含糖量的性能。例如甜菜应用增糖菌,甜菜含糖量可增加0.5—1度,也就是在不增加任何投入的情况下每亩甜菜可多产6.5公斤左右的食糖,一个中型糖厂每年可多增收100万元。

(四)提高植物的抗逆性 经增产菌处理过的植物抗逆性

普遍提高。除抗病、抗旱、抗寒性有明显提高以外，其它如抗干热风、抗霜冻能力均有提高。

增产菌施用到小麦上，由于菌群迅速扩大覆盖了小麦叶片受损的伤口，减缓了水分的散失。另外，施用增产菌后可减少小麦叶片上的交链孢菌 (*Alternaria*) 和枝孢菌 (*Cladosporium*) 之类微生物的数量，使这些微生物对破坏麦叶表皮蜡质层，增加水分蒸腾的作用受到抑制，从而减轻了干热风的危害。

许多作物受到霜冻的危害，霜冻严重危害常常是由于植物体表存在“冰核细菌”，如果增产菌先使用到作物上，可大大减少冰核细菌的数量，冻害就相对减轻。在马铃薯上防霜冻的效果可达60—75%，冻害普遍降低一级。

二、广泛的适应性

从原理上讲，增产菌是植物体自然生态系的成员，它已摆脱了土壤微生物的范畴。增产菌的活动，主要受植物个体内的微生态环境的影响。例如黑龙江省黑河的水稻，北京、上海的水稻，以及海南岛三亚的水稻，在抽穗时，它们植株个体内温度、水分含量、营养成分、代谢状况，大体上是一致的。所以，水稻增产菌在各地水稻上均表现出增产效果。

过去用的微生物制剂，大多数属于土壤微生物，它们受土壤的温度、水分、酸碱度、微生物以及田间小气候、环境天气的影响，它们受到外界条件的限制程度远远超过增产菌。

增产菌表现出极度广泛的适应性。

三、极大的亲和性

增产菌完全不同于以往用的菌肥、菌药和生长刺激素。它属于植物体自然生态系成员。增产菌是一个全新的农业措施，这一措施有一个突出的特点，就是同其它农业措施有着

高度的亲和性。

增产菌可以同其他一些农业措施相结合，不但没有矛盾，还可以起到相互促进、相互增效的作用，起互补的作用。

增产菌同品种的优化关系是密切的，它可以提高抗病虫品种的丰产性。它不但不会影响优良品种发挥它固有的特性，反而可以弥补其某些不足之处。

增产菌同栽培措施可以进行合理搭配使用，增强综合治理作用。

增产菌同化学措施不但没有矛盾，而且可以同杀菌剂（杀细菌剂除外）、杀虫剂、除草剂、化肥 微量元素等混合使用。

四、高度的安全性

增产菌系植物体自然生态系成员，它是植物体上的共生菌。不是土壤中来的微生物，也不是其它生境中与植物毫无关联的腐生菌。因此，从其本身的特性决定了增产菌具有可靠多方的安全性。

安全性主要表现在以下几个方面：

1. 增产菌对植物是安全的，不会对植物造成任何伤害，也不会 在植物体上有什么残留。使用了增产菌的农作物，增产菌只在局部地区一定时间内起到积极的促进作用。过后，植物体又恢复使用增产菌前相对稳定的微生态系。

2. 增产菌是从不同作物上筛选出不同的具有增加产量、提高质量、增强抗性的微生物野生群体或菌株组合。不但对植物安全，对动物、家畜、家禽也是安全的。

3. 增产菌的工业化生产安全性也很高。由于增产菌应用的菌株是一个野生的群体，而不是纯粹的单胞系（纯菌株），

因此在增产菌工业化生产过程中，遭受噬菌体的危害大大减轻，保证了生产的安全。

第三节 增产菌的基本特性

增产菌是从植物体内筛选的一类微生物，它与以往应用的许多生物制剂的重大区别之一还在于，增产菌不是一种纯种，即不是纯菌株、纯单孢系，而应视之为菌株组合或菌群。也就是说，各种类型的增产菌往往是由许多功能相近或相辅的菌株组成。这些菌株按照常规的微生物分类法可能是相同的也可能不同，它们自然地组合在一起，不易人为地区分开。在目前生产上应用的增产菌中，经鉴定出的不下十余种。

增产菌隶属芽孢杆菌中的一些类群。

一、芽孢杆菌概况

芽孢杆菌是细菌中的一大类群，在分类学上隶属原核生物界，细菌门，芽孢杆菌科，芽孢杆菌属，是没有固定细胞核的单细胞生物。芽孢杆菌通常为杆状，个体或不同种类间差异很大，长2—7微米，宽0.3—2.2微米。由于个体小，菌体透明，当它们单独存在或生长在植物体上时，即便在显微镜下也必须经过染色或用暗背景衬托才能看见。

芽孢杆菌与其它细菌一样，主要由四个部分组成，外面是称为细胞壁的一层硬壁套，包裹整个菌体，细胞壁内有一个连续的细胞膜，细胞膜内是细胞质和絮状的细胞核。芽孢杆菌菌体外，多数生有鞭毛，鞭毛生在菌体的两侧，它们有助于细菌的运动。芽孢杆菌在生长发育过程中会生成称作芽孢的休眠结构，芽孢是由菌体细胞中部分原生质浓缩失水而

成，它对不良的环境条件具有很强的抵抗和适应能力，有利于菌体度过恶劣的环境。

长期以来芽孢杆菌即在农业生产上得到应用，用作生物杀虫剂的苏云金杆菌制剂是众所周知的，它是寄生在昆虫幼虫的虫体上的一种芽孢杆菌。本世纪40年代后苏联等国家广泛生产应用的磷细菌也是一种芽孢杆菌，能够促进土壤中含磷矿物尽快释放出磷素，从而增加土壤肥力。枯草芽孢杆菌多年来在欧美各国用于防治多种作物病害，蜡质芽孢杆菌也被用来防治葱和松树疾病。

二、主要增产菌株的性状

经鉴定，目前所用的增产菌主要有蜡质芽孢杆菌、短芽孢杆菌、坚强芽孢杆菌等。其中以蜡质芽孢杆菌占绝对优势，大约占菌株组成的65%。

增产菌菌株例1：蜡质芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)

菌体直杆状，光学显微镜下长3—4微米，宽1微米，革兰氏反应阳性。中生或近中生椭圆形或柱状芽孢。琼脂平板培养，菌落圆形，直径0.6—0.7厘米，边缘不整齐，菌落蜡质，无光泽。液体培养形成菌膜。生长温度15—45℃，适温28—40℃，适宜pH5.7—6.5，能在7% NaCl中生长，并且能厌氧生长。

增产菌菌株例2：坚强芽孢杆菌(*B. firmus*)

菌体杆状，光学显微镜测量长3—4微米，宽1微米，革兰氏反应阳性。中生或近中生椭圆形芽孢。琼脂平板培养，菌落圆形，直径0.3厘米，边缘整齐，隆起，菌落浅黄色，无光泽，不透明。液体培养混浊，能在7% NaCl中生长，不厌氧生长。

增产菌菌株例3：地衣芽孢杆菌(*B. licheniformis*)

菌体直杆状，成链，光学显微镜下长2.5—3微米，宽1—1.2微米，革兰氏反应阳性。芽孢椭圆或柱状中生。琼脂平板培养，菌落圆形，直径0.1厘米，边缘整齐，中央凹陷，边缘隆起，菌体无光泽，不透明。液体培养混浊，形成沉淀。生长温度15—45°C，适温30—32°C，适宜pH7.7—8.3，pH5.7生长，能在7%NaCl中生长，可以厌氧生长。

三、为什么要用芽孢杆菌

植物体自然生态系中有各样的微生物，真菌、细菌、放线菌、酵母菌、类菌原体、病毒等已知微生物在植物体表面内都存在。已知植物叶表的真菌不下110种，每克叶片叶表的真菌和细菌数量可达100万至1000万，在植物根部有时可达10亿。我们从甘薯体内分离到的真菌包括10多个属。棉花维管束内分离到的真菌、细菌、放线菌等分布在20多个属中。据估计，动物体内的微生物数量为细胞数目的10倍以上，植物体内的生物不会低于这个标准。

细菌是微生物中的一大类群，它们具有个体小、繁殖快的特点。一般直径为0.1—1.0微米，繁殖时从中间一分为二裂开，大约20分钟即繁殖一代。一个母菌体繁殖50小时头尾纵向相连即可绕地球一周，比其它微生物的繁殖速度快得多，因此易于得到大量菌体。芽孢杆菌是细菌中的一类，它具有两个显著特点：一个是分布广泛，在我们研究过的植物体内都生活有芽孢杆菌，在棉花等作物体内芽孢杆菌占绝对优势；由于芽孢杆菌在有氧或无氧的条件下大多能生存，因此它的适应性相当广。二是抵抗逆境能力强，堪称微生物中的冠军。芽孢杆菌会形成厚壁的芽孢，煮沸的开水往往都不能将它们杀死，而一般细菌加热到60—80°C稍许即可致死。芽孢杆菌耐干湿，酸碱的能力也很强，而且抗各种射线的能

力比一般细菌高2—10倍，是一般真菌的2—5倍。

目前所用的增产菌都为芽孢杆菌，如蜡质芽孢杆菌等十余个种，这是经过多年试验、反复比较、认真筛选培育得来的。其它微生物类群中也可筛选出作物增产菌。菌剂的大面积应用不可避免要进行工厂化发酵生产，菌剂的运输存放、自然田间的干热冷湿、微生物间的生存竞争，无不要求所选菌株有高度的适应性和抵抗力，这是菌剂能发挥作用的起码要求。

第二章 植物微生物学——增产菌 研究的理论基础

第一节 植物微生物学和微生物 防治及微生物制剂

现代生物学在向两个方向发展，一是分子生物学，当前以遗传工程为热门话题，它主要研究生物细胞壁以内的生物组成及活动。二是宏观生态学，它针对生物群体或个体水平的生态关系，主要研究一个生物群体(如一亩小麦)如何优质高产，这个群体同周围生物环境及非生物环境的关系，当前热门话题是“生态农业”、“吨粮田”。然而，当代有识之士认为在生物个体内、细胞壁外，存在一个非常有意义、非常广阔又急待开拓的第三领域，我们称之“微生态”。

一、植物微生物学

1977年德国沃尔克·鲁斯(Volker Rush)博士首次明确提出微生态学(microecology)这个词，1985年又重新下定义为：“微生态学是细胞水平或分子水平的生态学”。我国康白教授于1988年在《微生态学》一书中提出微生态学定义为“研究正常微生物群与其宿主相互关系的生命科学分支”。

生物体内微生物“有益”与“有害”的概念是按人类自身利益和认识所决定的。据初步研究，植物体内真菌类微生物，对人有益的约占15%，有害的约占15%，表现中性的占70%，

“益”与“害”之间并没有一个绝对界限。因此，植物微生物学定义应是“任何植物个体都是其组织细胞与其体内微生物组成的复合体。植物微生物学即是研究这些微生物的组成、功能、演替，它们相互之间及其与寄主间相互关系的生命科学分支。”

微生物学作为一门独立学科的历史并不长，通常认为是近十多年的事。以正常微生物群为研究对象的微生物学，在其学科名称出现之前已具有悠久历史。医学研究较早，可以说是与细菌学同时期。细菌是荷兰学者吕文胡克在1676年发现的，他曾用自己发明的显微镜直接悬滴法制片，最先观察人、动物及植物标本的正常微生物群，观察的植物种子有胡椒。他是微生物学的创始人。而后历经200多年的时间，许多学者观察了各种细菌的形态，还进行了培养，在当时不懂得纯培养技术，只能在混合液中进行培养。混合培养不能建立起种的概念，阻碍了微生物学的发展。100多年前德国柯赫(Koch)发明了固体培养基，于是有了纯培养技术，这是微生物学发展的重要里程碑，但它忽视了微生物在自然生境中是混合存在的客观事实。从19世纪末到20世纪初，在巴斯德(pasteur)和柯赫光辉业绩的指导下，形成了病原微生物的热潮，认为微生物主要是有害的。观念上的错误，在很大程度上也阻碍了微生物学的发展。

1945年至1970年有两件事促进了微生物学的发展。一是抗生素投入工业化生产，它的功绩永垂青史。但另一方面，由于破坏了生物个体内微生物群的生态平衡，菌群失调引起二重感染造成死亡，唤醒了人们对生物个体内微生物群生态平衡和生态失调问题的注意。这无疑促进了微生物学的发展。二是无菌动物及悉生动物培养，不仅推动了微生物学前