



腐植酸应用丛书

中国腐植酸工业协会 组织编写

绿色环保型

LÜSE
HUANBAOXING
FUZHISUAN
LINFEI

腐植酸磷肥

王曰鑫 李成学 主编



化学工业出版社



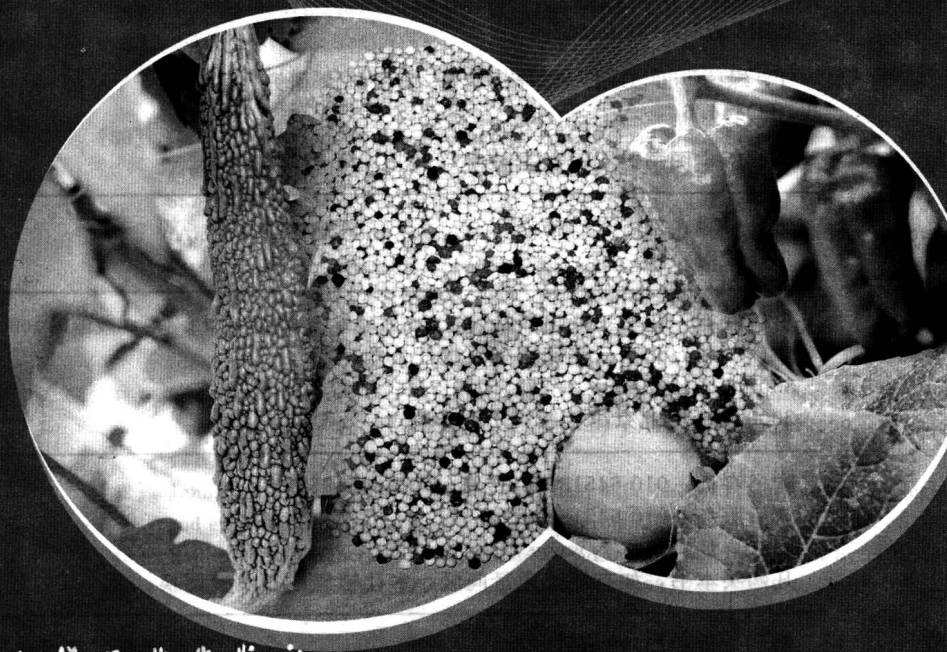
腐植酸应用丛书

中国腐植酸工业协会 组织编写

绿色环保型 LÜSE
HUANBAOXING
FUZHISUAN
LINFEI

腐植酸磷肥

王曰鑫 李成学 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在回顾总结我国磷肥工业发展历史的基础上,系统阐述了腐植酸与土壤肥力关系及腐植酸对土壤磷素的作用机理,进一步详细介绍了绿色环保型腐植酸磷肥的生产工艺、技术及其应用效果研究。

本书可供从事农业、腐植酸、肥料及科技管理部门的工作人员阅读,也可供大专院校农学、生物、肥料等相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

绿色环保型腐植酸磷肥/王曰鑫,李成学主编.

北京:化学工业出版社,2008.10

(腐植酸应用丛书)

ISBN 978-7-122-03562-2

I. 绿… II. ①王…②李… III. 腐植酸磷-研究

IV. TQ444.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第129383号

责任编辑:刘 军 杨立新

装帧设计:张 辉

责任校对:蒋 宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张5¼ 字数134千字

2009年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:23.00元

版权所有 违者必究

《腐植酸应用丛书》编委会

主 任 曾宪成

委 员 (按姓氏汉语拼音排序)

成绍鑫 冯元琦 李宝才 李善祥 林启美

孟宪民 许恩广 曾宪成 张彩凤 郑 平

序

纵观汪洋书海，腐植酸类图书甚少。在已出过的腐植酸类图书中，唯郑平先生主编的《煤炭腐植酸的生产和应用》（1991年出版）一直在业内独享清教，这与博大精深的腐植酸类物质的客观存在极不相称。

在浩瀚广袤的地球生物圈里，蕴藏着一种不引人注目的暗色有机物，这就是腐植酸类物质。腐植酸是天然高分子有机化合物，广布于土壤、江河、湖泊、沼泽、森林等自然界中，是地球碳循环的重要组成部分，亦是“维持生命的贮库和生物圈的保护者”。

人类真正认识腐植酸，自1786年德国 Achard 首次从泥炭中提取腐植酸后，德国 Vauquelin 和 Thomson 分别于1797年、1807年用碱液从腐解植物残体和土壤中提取出腐植酸，距今只有221年。如果以我国“药圣”明代著名医药学家李时珍《本草纲目》著作中编入的“乌金散”（国家中医药保护品种，“乌金”系指腐植酸）为个例的话，说明我国腐植酸的应用已有四百多年的历史。

自1957年3月起，我国开始煤炭腐植酸的研究、生产和应用，走过了从理论到实践、从论证到创新、从示范到推广的过程，取得了由量变到质变的一系列重要成果，确立了腐植酸对国民经济一、二、三产业有益补充的历史地位。50年中，我国腐植酸产业先后经历了基础研究的“开拓期”（1957~1966年）、“文革”时期的“间歇期”（1966~1974年）、国家推动的“黄金期”（1974~1985年）和市场化发展的“自然生育期（1985~2006年）”四个阶段。现在，伴随着国民经济可持续发展的需要，终于迎来了市场成长的最好时期。

人类从土壤、水体等中获取腐植酸原料几乎不可能，而煤炭腐植酸的开发利用则成为必然。工业利用的腐植酸，主要从富含腐植酸的矿源（褐煤、风化煤、泥煤）中提取。我国煤炭腐植酸资源丰富，已知的褐煤约 1265 亿吨，风化煤约 1000 亿吨，泥炭约 125 亿吨，价值高达人民币百万亿元。20 世纪 60 年代初，我国开始煤炭腐植酸生产，至今已形成工业化规模，主要有腐植酸、硝基腐植酸、腐植酸盐等三大类数以百计的产品。这些原创产品由最初在农业开发中的应用，逐步渗入工业、矿业、医药、保健乃至环境治理等众多应用领域，并已在绿色环保产业中彰显出独有魅力。而且，中国腐植酸产品种类之多、应用范围之广，均居世界前列。

20 世纪 90 年代初，“生物腐植酸”脱颖而出，这是我国科技工作者师法自然而取得的一项重要成果。“生物腐植酸”称谓缘于两个显著特点：一是原料均系生物质，二是产物依靠生物发酵，两者可不断优化和再生利用。生物腐植酸具有广泛的生物活性。目前，在大农业各领域均得到了很好的应用，如腐植酸可降解液态地膜、腐植酸水产健康养殖、腐植酸植物康复制剂等新品新秀。

人类认识腐植酸是一个渐进的过程。在我国计划经济条件下，腐植酸在国民经济分类中只是一个 small 类，产品多以稳定剂、调节剂、助剂等形式存在，只是经济发展中“公益性”的“润滑剂”。当人类在工业领域极尽扩张，大量消耗初级资源，生态环境遭到破坏，直至民生安全受到威胁时，腐植酸的作用和地位才得以凸显出来。

腐植酸与环境和谐共生的天然本色，必将造就腐植酸成为关怀人类的新产业。毫不夸张地说，人类赖以生存的土壤、水体、空气、动植物、有益微生物等环境因子，不可避免都要牵涉到腐植酸类物质；人们生产生活使用的肥料、农药、处理剂、吸附剂、化学品和医药保健品等，凡是涉及绿色环保和食品安全产业链上的要素，无不把注意力转向腐植酸的开发应用上来。正如世界知名土壤化学家 M. 斯尼茨尔教授所说：“腐植酸类物质广泛分布于地球表面，直接或间接地控制着许多反应，影响着这个地球上人类的生

存，并继续地向许多久经考验的科学家的的好奇心和智慧发起挑战。”

回顾历史，我们付出了辛勤的劳动，获得了丰硕的果实，积累了宝贵的经验和教训。中国腐植酸工业协会组织全国从事腐植酸研发、生产和应用等领域的专家和科技工作者编写《腐植酸应用丛书》，其目的正是：总结过去，分享成果；浓缩精华，推进未来！

曾宪成

2007 年 8 月于北京

前 言

腐植酸（HA）作为廉价、有效且无污染的磷肥增效剂的研究和应用已有 30 多年的历史，并已取得了很大的研究成果。在当前农业生产向高效、优质、低能耗方向发展的形势下，腐植酸磷肥的利用更加引起人们的关注，因此对腐植酸磷肥的研究历史和现状作一总结是很有必要的。

腐植酸对磷肥作用的研究重点在利用腐植酸类有机物质保护水溶性磷肥，形成含磷和腐植酸的复合肥，减少磷的固定，促进磷的吸收，提高磷肥利用率。添加腐植酸可以抑制土壤对磷的固定，减缓磷肥从速效态向迟效或无效态的转化。腐植酸对肥料中磷和土壤中潜在磷（作物当季难以利用的磷）都有积极的影响。添加腐植酸可使土壤速效磷含量提高，对腐植酸提高土壤中磷效果的机理需进行深入探讨。

近 20 多年来，随着肥料特别是化肥施用的不断增加，一些不合理施肥的负面效应已经明显地显现出来。对于磷肥来说，不合理或过量使用磷肥，造成了土壤中磷素的积累，既浪费了宝贵的磷矿资源，也产生了对环境的污染，造成了大面积的河流和湖泊的富营养化，对土壤环境造成了重金属污染，引起农产品品质下降以及对人体健康的负面影响。腐植酸与磷肥结合，恰好能有效地解决这一难题，可大幅度提高农产品的产量与质量，实现农业生产和环境保护的协调发展。腐植酸与磷肥结合，可提高磷资源的利用效率，实现节约资源和保护环境、生态与生产双赢的可持续发展战略。所以说，腐植酸与磷肥结合开发新型的绿色环保型腐植酸磷肥工业，能促进磷肥的合理有效利用、保护土壤生态环境、促进农业生产的可持续发展，保护人类的健康。随着人们环保意识的日益增强，对过量的、不合理的施用磷肥造成的危害越来越受到关注，肥料和施肥

技术需要“绿色化”已成为当务之急。“绿色化”不是不施化肥，而是施用得更合理、更科学，不仅对环境友好，有利于农业持续发展，有利于人民生活质量提高，也要有利于施肥效益的提高，达到“高产、优质、高效”的目标。

磷是作物生长不可缺少的肥料三要素之一。我国是一个农业大国，但也是一个人均磷矿资源非常短缺的国家，为了保障农业生产的发展，我国在 20 世纪建立起了较为完善的磷肥工业体系。本书在回顾总结磷肥工业发展历史的基础上，从磷肥不合理利用带来资源短缺和环境污染两方面，论述了我国磷肥工业发展中存在的问题。要解决这些问题，利用腐植酸产业与磷肥工业有机结合，改造传统的磷肥生产工艺，开发多种新型腐植酸磷肥，既可节约资源，提高磷矿资源的利用率，又能实现环境保护，大大减轻磷素污染，实现磷肥工业与生态农业的可持续发展。

本书由中国腐植酸工业协会组织，在《腐植酸应用丛书》编委会指导下完成，曾宪成理事长给予了详细的指导。本书由王曰鑫、李成学主编，参加编写的还有程刚、郭建芳、侯宪文、栗丽等。本书在编写过程中，得到了中国腐植酸工业协会有关专家的热情支持，在此表示衷心感谢。目前，由于腐植酸与磷肥的关系的研究空白点还很多，再加上编者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，望各位专家提出批评指正。

编者

2008 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 土壤、肥料与环境	1
1.2 生态环境变化和生态农业建设	2
1.3 从土壤的磷素营养到人类健康	5
1.3.1 现代农业发展与人类健康	5
1.3.2 土壤健康及评价	7
1.3.3 磷肥对土壤、作物及农业生态环境的影响	9
1.3.4 磷肥污染对农产品及人体健康的影响	10
1.4 发展绿色环保型腐植酸磷肥的意义和前景	12
第 2 章 腐植酸与土壤肥力的关系	15
2.1 腐植酸资源的性状	15
2.1.1 腐植酸的主要来源	15
2.1.2 腐植酸类物质的组成与结构	16
2.2 我国腐植酸资源的概况及农业应用	23
2.2.1 我国腐植酸资源的概况	23
2.2.2 我国腐植酸农业应用的历史	24
2.2.3 我国腐植酸农业应用的发展前景	26
2.3 腐植酸类物质在改良土壤肥力中的作用	28
2.3.1 盐碱土的改良	29
2.3.2 白浆土的改良	31
2.3.3 红壤的改良	33
第 3 章 植物的磷素营养与磷肥	37
3.1 植物的磷素营养	37

3.2	我国土壤磷素的基本状况	41
3.3	磷肥的种类及性质	42
3.3.1	磷肥的种类	42
3.3.2	不同磷肥的性质及施用	43
3.4	磷肥的合理施用	48
3.4.1	施用磷肥的必要性	49
3.4.2	作物吸磷特点	49
3.4.3	合理选择磷肥的品种	50
3.4.4	选择适当的施用技术	50
第4章	腐植酸改造磷肥产业	52
4.1	磷肥工业的历史与现状	52
4.2	我国磷肥工业的发展状况	56
4.2.1	我国磷矿资源的分布特点	56
4.2.2	我国磷矿资源的利用简况	57
4.3	磷肥用量增加带来的问题与对策	58
4.3.1	磷肥对土壤的污染	59
4.3.2	水体富营养化	66
4.3.3	解决磷肥污染的方法与对策	69
4.4	新型腐植酸磷肥的开发应用前景	70
第5章	腐植酸对土壤磷素的作用机理	71
5.1	磷肥在土壤中的转化	71
5.1.1	土壤磷的吸附与解吸过程	71
5.1.2	土壤磷的溶解与沉淀过程	73
5.1.3	磷肥在石灰性土壤中的转化特点	74
5.1.4	磷肥在水稻土中的转化特点	75
5.2	腐植酸与磷素关系的研究	77
5.2.1	有机酸对土壤吸附磷的影响	78
5.2.2	有机酸对磷的解吸和释放	79

5.3 腐植酸对磷肥的影响研究	80
5.3.1 腐植酸与磷肥结合对磷有效性的影响	83
5.3.2 腐植酸与速效磷肥作用后磷酸盐形态的变化	88
第6章 腐植酸磷肥——新型绿色环保磷肥	95
6.1 绿色环保型腐植酸磷肥的构建	95
6.1.1 绿色环保型腐植酸磷肥的含义	95
6.1.2 腐植酸与磷肥作用的化学基础	95
6.1.3 腐植酸磷肥的发展历史	97
6.2 腐植酸磷肥的分类	98
6.3 绿色环保型腐植酸磷肥的作用特点	99
6.3.1 腐植酸磷肥的作用机理	99
6.3.2 腐植酸类磷肥提高磷素利用率的作用	101
6.3.3 腐植酸类磷肥的增产作用	103
6.3.4 腐植酸类磷肥提高农产品品质的作用	104
6.3.5 腐植酸类磷肥的环保作用	105
6.4 腐植酸磷土壤改良剂的种类与作用	106
6.4.1 腐植酸磷土壤活化剂	106
6.4.2 腐植酸磷土壤活化剂作用效果	109
第7章 腐植酸磷(复)肥的生产技术	110
7.1 腐植酸磷(复)肥产业化的条件	110
7.2 腐植酸磷肥的生产技术	110
7.2.1 腐植酸磷肥生产对腐植酸的要求及加工方法	112
7.2.2 腐植酸磷肥(HA-P)的工艺路线	113
7.3 腐植酸磷复肥的生产工艺技术	113
7.3.1 以泥炭为原料的生产工艺	113
7.3.2 以煤炭腐植酸为原料的生产工艺	118
7.4 含磷腐植酸叶面肥的生产技术	119
7.4.1 叶面肥料作用机理	119

7.4.2 含腐植酸叶面肥生产技术	122
第8章 腐植酸磷肥的应用效果研究	124
8.1 新型腐植酸磷肥的应用效果	124
8.1.1 HA-P 的生物效应和应用效果	124
8.1.2 HA-P 的开发概况	125
8.2 腐植酸磷(复)肥的应用研究	126
8.2.1 腐植酸磷肥在玉米上的对比试验	127
8.2.2 腐植酸磷肥在大豆上的对比试验	131
8.2.3 腐植酸磷肥在绿豆上的对比试验	137
8.2.4 腐植酸磷肥在马铃薯上的对比试验	149
8.3 新型腐植酸磷(复)肥的开发应用前景	153
参考文献	154

第 1 章 绪 论

1.1 土壤、肥料与环境

地球自然生态环境由岩石圈、大气圈、水圈、生物圈和土壤圈构成，而土壤圈把其余四个圈有机地紧密地联系在一起，是其中极其关键的中心环节，是自然界有机与无机的转换与结合带，维系着地球物质和能量的循环。众所周知，土壤是农业生产的基础，也是人类生存的基础，正如当年马克思所说：土壤是世代相传的人类生存条件和再生产条件。世界上繁华的都市，都是建立在肥沃的田野上，但是历史上曾经留下辉煌灿烂历史的繁华城市，许多都灰飞烟灭了，经考古学家们大量的研究证明，大多数不是毁于战争，而是人类大量集中，人口膨胀，对土地滥垦滥伐而造成水土流失，生态破坏所致。所以不少致力于研究土壤的发生发展与生态环境关系的专家学者，提醒人类要善待养育我们的土壤，合理使用并保护好土壤，防止土壤荒漠化。

自从李比希提出了养分归还学说后，就有了肥料工业的产生，并得到了生产实践的证实，推动农业生产的快速发展，同时也促进了肥料工业的高速发展。当今的农业生产已离不开肥料，肥料是植物的粮食，土壤肥力的保持与提高需要肥料。据联合国粮农组织(FAO) 1970~1990 年的统计，使用化肥对粮食的增产率达40%~60%。据分析，化肥在我国农作物增产中的贡献率在35%以上，其作用是不可替代的，为我国摆脱饥饿进入温饱和小康作出了巨大的贡献。然而由于我国农民的文化知识水平较低，肥料的施用技术相对不高，具体表现在林草地土壤缺乏肥料的投入，而农业土壤上过量集中施用速效化学氮肥，从而在一定程度上造成水体的富营养，对生态环境及人类健康带来了一定的威胁。

但这些并不都是肥料造成的，而是由于施用者不太了解土壤的保肥性与供肥性、肥料自身的特性、植物对养分的吸收规律等，未能做到合理施肥造成的。肥料是农业土壤养分的主要来源，但土壤有一定的保肥性与供肥性，是植物所需养分的库，也是源。养分在土壤中处于一个动态平衡中，具有一定的容量和调剂能力，少则贫、满则溢。

1.2 生态环境变化和生态农业建设

生态环境变化主要受化学元素在自然环境中迁移和富集的程度及化学元素的性质、外界物理化学的变化和生物化学作用的影响。人体正常生长所需的金属和非金属化学元素在地表中平均含量很低，也很分散和不均匀，这些化学元素大多数又是通过土壤中生长的农作物而进入人体的。由于长期从土壤中不断收获农作物，使得土壤中的某些化学元素源源不断地被转移到农作物中，从而使土壤贫乏。要使农作物不断增产和提高品质，必须向土壤中补充农作物所需的化学元素，而这正是化学肥料工业的主要任务。因此，土壤这一生态环境是通过提供农作物的营养物质来影响人类健康的。

生态农业是依靠农业系统内部来维持土壤肥力、促使农业稳定、持续生产的一种农业模式。它的基本特点是低投入、高产出，无公害，保护自然资源持续利用。

生态农业能够在有效发展农村经济的同时又能改善环境，它是环境保护与经济协调发展的最佳体现，是实现可持续发展的必由之路，是具有光明前景的农业发展道路。

生态农业建设不仅为发展绿色食品创造了最好的生态环境条件，而且也为发展绿色食品提供了技术基础；而绿色食品则是生态农业成果的载体，是生态农业与市场农业的桥梁，两者均能获得明显的生态、经济和社会效益。可以说，发展绿色食品生产，就是进行一项生态农业建设。因此，要大力加强生态农业建设，并将绿色食品的基地建设与生态农业的试点建设结合起来，尤其要注意抓好

县级生态农业试点建设和生态农场建设，促进区域农业生态环境改善和绿色食品的深度与广度开发；力争做到建设一个绿色食品基地，搞好一个生态农业试点；推广一批生态农业示范工程，开发一批绿色食品。

减少化肥、化学农药的用量，多施有机肥及利用生物农药防治病虫害，是生产绿色食品的一项关键措施。由于传统有机肥的堆制方法落后，有效成分损失严重，加之数量有限，使有机肥的数量和质量均不能满足绿色食品生产的需要。因此，应积极开展工业化方法制造有机肥，以降低成本、提高肥效、保证供应，并使之向产业化、规模化、现代化方向发展。

环境保护有两种方式，即主动保护与被动保护。绿色食品开发是将保护环境与发展经济有机结合的主动环保的典范，它将环境作为一种生产要素加以培育和利用，通过产品载体进入市场，实现其价值。绿色食品生产避免或最大程度地限制化学合成肥料、化学农药、植物生产调节剂等的使用，大量使用有机肥、复合肥、生物肥等。这样就可以避免大量的农药、化肥等有害物质残留于土壤中，可防止土壤板结，减轻土壤中有机质的退化程度，保护生态环境和资源。同时，开发绿色食品必须对原料产地的水资源、土壤、大气等环境要素进行监测，根据监测结果，采取相应有效的防治措施，以保证其原料产地的环境质量。按规定要求，绿色食品生产基地及周围环境，不准产生新的污染源；即使有少量不可避免的老污染源，也必须进行“三废”治理。因此，开发绿色食品的过程，就是强化农业环境管理的过程；获得一个“绿色食品”，就是保护和改善了一片生态环境。

近几年来，由于开发绿色食品，我国有相当一部分地区的土地资源因受到监控而得到很好保护。受保护的土壤，不仅地力和洁净度提高了，而且产出效益也提高了；既控制了工业污染向农业的转移、扩散，又消除了常规农业自身的负面影响。

随着环境污染的日益加重，化学农药与化学肥料的大量应用和食品生产加工过程中合成添加剂（如防腐剂、人工色素等）的普遍

使用，食品污染和品质下降问题越来越受到人们的关注。针对上述问题，深入开展农业生态系统健康研究，生产无公害农产品、绿色食品和有机食品，对提高我国农产品安全和保障人类健康具有十分重要的意义。为此，21 世纪初农业生态系统健康将优先研究以下几项内容。

(1) 农业生态系统健康评价方法研究。由于农业生态系统具有不同的空间尺度，因此对农业生态系统健康进行评价也应采用不同的方法，应着重从评价依据、评价原则、评价指标体系、评价方法等方面进行深入研究。

(2) 农田生态系统健康与人类健康之间关系的研究。农业生态系统健康与人类健康存在着十分密切的关系，人类健康直接地联系并依赖于农田生态系统健康，没有食品安全就没有人类健康，农田生态系统健康的退化必然会影响人类健康。因此应重点开展如农田环境健康研究（土壤、水质、大气监测评价）和食物链健康研究（农产品农药残留、重金属、硝酸盐、生物污染等）。

(3) 农田生态系统健康与生物多样性之间关系的研究。大量的研究表明，在农田生态系统中，采取少耕和免耕的方法能够提高农田生物多样性，农田生物多样性的提高能够显著地减少农药施用量，进而也提高了农产品的安全性。因此，应优先开展少耕免耕农田生态系统的研究，维持农田生物多样性，实现农田生态系统健康管理目标。

(4) 农田生态系统健康与农产品安全生产研究。农田生态系统健康是农产品安全生产的前提和保障。只有在健康的农田生态系统条件下才有可能生产出安全的农产品，国家科学技术部在“十五”期间资助“863”计划、“生物与现代农业技术领域”中就设置了“农产品安全生产与检测技术”专题，开展高效、低毒、低残留的农业生产资料研制与产业化（生物农药、环境友好型肥料、植物生长调节剂等）。

(5) 农田生态系统健康与精细农业试验示范研究。应用 3S 技术对农田环境进行监测评价，开展精细农业试验示范研究，从定