



有机肥条垛型堆积发酵 技术与应用

李章海 韦建玉 叶江平 主编

中国科学技术大学出版社

有机肥条垛型堆积发酵 技术与应用

李章海 韦建玉 叶江平 主编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是在作者项目研究成果的基础上,吸收国内外有机肥研究和实践的先进经验编写而成的,全书包括概论、有机肥发酵原理与技术、有机肥条垛型堆积发酵工艺和技术研究、有机肥在烟草生产上的应用以及相关标准和规范等内容。本书对我国广大农村地区利用作物秸秆和禽畜粪便等有机物资源就地制作和科学使用有机肥具有指导作用,对减少秸秆焚烧等对环境的污染,促进农业可持续发展具有重要意义。

本书可供相关专业研究者和从业者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

有机肥条垛型堆积发酵技术与应用/李章海,韦建玉,叶江平主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2015.6

ISBN 978-7-312-03726-9

I. 有… II. ①李… ②韦… ③叶… III. 有机肥料—堆肥
IV. S141.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 095440 号

出版 中国科学技术大学出版社

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

网址: <http://press.ustc.edu.cn>

印刷 安徽省瑞隆印务有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 880 mm×1230 mm 1/32

印张 8.5

字数 250 千

版次 2015 年 6 月第 1 版

印次 2015 年 6 月第 1 次印刷

定价 32.00 元

编 委 会

主 编 李章海 韦建玉 叶江平

副主编 张雨厦 张克勤 吴 峰

武 丽 贺方云 苟剑渝

编著人员(以姓氏笔画为序)

韦建玉(广西中烟工业有限责任公司)

邓 泳(广西中烟工业有限责任公司)

叶江平(贵州省烟草公司遵义市公司)

李章海(中国科学技术大学)

刘明竞(遵义市烟草公司正安县分公司)

吴 峰(广西中烟工业有限责任公司)

武 丽(安徽农业大学)

苟剑渝(遵义市烟草公司正安县分公司)

陈晓明(贵州省烟草公司遵义市公司)

张长华(贵州省烟草公司遵义市公司)

张雨厦(广西中烟工业有限责任公司)

张克勤(广西壮族自治区烟草公司)

张纪利(广西中烟工业有限责任公司)

何 楷(遵义市烟草公司正安县分公司)

贺方云(遵义市烟草公司正安县分公司)

耿富卿(广西中烟工业有限责任公司)

黄纯杨(遵义市烟草公司正安县分公司)

阚宏伟(广西中烟工业有限责任公司)

前 言

几千年前,我国劳动人民就有使用有机肥料的习惯。有机肥料具有养分全面、有机质丰富、养分释放均匀长久的特点和培肥土壤、促进作物生长、改善农产品品质的作用。但由于有机肥料养分含量低,释放慢,当季作物利用率低,20 世纪中期以来,随着我国化肥工业的迅速崛起,广大农民逐渐放弃了施用有机肥的传统,取而代之的是大量使用化肥,导致土壤肥力下降,施肥效益递减和农产品质量变差。近年来,随着市场经济的发展和人们对绿色食品需求的不断提高,人们对农产品品质也有了更高的要求,因此,有机肥的施用引起了人们的广泛关注。

我国城市和农村各类有机固体废弃物数量巨大,不加以合理利用,不仅会导致有机物资源的浪费,而且会造成环境的二次污染。根据国内外发展经验,有机固体废弃物处理的主要途径之一就是通过对有机物料的发酵处理,实现有机废弃物的减量化、无害化和资源化。在农业生产过程中,要让我国广大农民接受使用有机肥。首先,采用科学的有机物料发酵技术生产有机质和养分含量高、腐熟完全的高品质有机肥,提高有机肥的使用效果,增加农产品产量和品质,提高农民收入。其次,充分利用当地有机物料资源,通过农业合作社就地建立有机肥发酵工场生产有机肥,降低有机肥生产和运输成本,从而降低农民肥料投入成本。再次,政府和相关涉农企业采取补贴政策,提高农业合作社、农民生产及使用有机肥的积极性。我们在贵州省遵义市开展了由当地烟草企业和合作社合作就地建立有机肥发酵工场生产有机肥项目研究、试验和示范工作,取得了明显的效果。

为了使项目成果在我国广大农村得到推广应用,我们在项目研

究成果的基础上,吸收国内外有机肥研究和实践的先进经验,编写了本书,以期对我国农村地区和烟叶产区就地制作和使用有机肥有所帮助,为我国农村有效利用大量作物秸秆和禽畜粪便等有机物资源,减少秸秆焚烧等对环境的污染做出应有的贡献。

全书包括概论、有机肥发酵原理与技术、有机肥条垛型堆积发酵工艺和技术研究、有机肥在烟草生产上的应用以及相关标准和规范等内容。

由于编写时间仓促和作者学识有限,书中的错误和疏漏在所难免,恳请读者批评指正。书中引用了同行的大量资料和成果,在此谨致谢忱。

编 者

2015 年 2 月

目 录

前言	(i)
第一章 概论	(1)
第一节 有机肥料的概念	(1)
第二节 有机肥料的作用	(7)
第三节 有机肥料的使用技术	(10)
第四节 我国当前有机肥资源及利用现状	(15)
第二章 有机肥发酵的原理与技术	(23)
第一节 有机肥堆积发酵的基本原理	(23)
第二节 有机肥堆积发酵的影响因素	(40)
第三节 有机肥条垛型堆积发酵的设施和设备要求	(50)
第四节 有机肥堆积发酵过程的控制	(56)
第五节 有机肥腐熟度的评价指标与方法	(75)
第六节 有机肥堆积发酵过程的监测及贮存	(81)
第三章 有机肥条垛型堆积发酵工艺和技术研究	(87)
第一节 不同 C/N 比值对有机肥条垛型堆积发酵的影响	(87)
第二节 不同通风方式对有机肥条垛型堆积发酵的影响	(104)
第三节 不同物料水分对有机肥条垛型堆积发酵的影响	(123)
第四节 不同物料配比对有机肥条垛型堆积发酵的影响	(135)
第五节 有机肥条垛型堆积发酵工艺与技术优化	(147)

第四章 有机肥在烟草生产上的应用	(150)
第一节 有机肥对烟草生长和烟叶质量的作用	(150)
第二节 烟草有机肥与无机肥合理配比施用研究	(153)
第三节 不同物料配方有机肥烤烟大田施用效果研究	(169)
第四节 生态烟有机肥施用技术研究	(188)
第五节 有机肥就地生产和应用的成功案例——贵州省正安县烟草公司在烟草生产上推广有机肥的成功经验	(198)
附录一 GB 20287—2006 农用微生物菌剂	(204)
附录二 NY 535—2012 有机肥料	(227)
附录三 NY 884—2012 生物有机肥	(243)
附录四 烟草有机肥条垛型堆积技术规范	(249)
附录五 遵义市烟草基地单元有机肥集中积制工场建设规范	(255)
参考文献	(259)

第一章 概 论

第一节 有机肥料的概念

一、有机肥料

我国劳动人民几千年前就有使用有机肥料的习惯,那时的有机肥料主要是农民就地取材、就地积存的自然肥料,所以也叫农家肥。有机肥料的原料来源广泛,几乎一切含有有机质并能提供养分的物料均可以加工成为有机肥料,因此种类繁多,名称各异,但我国还没有统一的有机肥料分类标准。1990 年农业部在全国 11 个省(区)广泛开展有机肥料调查,根据有机肥的资源特性和积制方法,把全国有机肥料归纳为粪尿类、堆沤肥类、秸秆肥类、绿肥类、土杂肥类、饼肥类、海肥类、腐殖酸类、农业城镇废弃物、沼气肥十大类,并收集了 433 个肥料品种(见表 1.1)。

表 1.1 中国有机肥料种类品种表

类 别	品 种
粪尿类	人粪尿,人粪,人尿,猪粪,猪粪尿,马粪,马粪尿,牛粪,牛粪尿,骡粪,骡粪尿,驴粪,驴粪尿,羊粪,羊粪尿,兔粪,鸡粪,鸭粪,鹅粪,鸽粪,蚕砂,狗粪,鹌鹑粪,貂粪,猴粪,大象粪,蝙蝠粪等
堆沤肥类	堆肥,沤肥,草塘肥,廋肥,猪圈肥,马厩肥,牛栏肥,骡圈肥,羊圈肥,兔窝肥,鸡窝肥,棚肥,鸭棚肥,土粪等

续表

类 别	品 种
秸秆肥类	水稻秸秆,小麦秸秆,大麦秸秆,玉米秸秆,荞麦秸秆,大豆秸秆,油菜秸秆,花生秸秆,高粱秸秆,谷子秸秆,棉花秆,马铃薯藤,烟草秆,辣椒秆,番茄秆,向日葵秆,西瓜藤,甜瓜藤,草莓秧,麻秆,冬瓜藤,南瓜藤,绿豆秆,豌豆秆,胡豆秆,香蕉茎叶,甘蔗茎叶,洋葱茎叶,芋头茎叶,黄瓜藤,芝麻秆等
绿肥类	紫云英,苕子,金花菜,紫花苜蓿,草木樨,豌豆,箭豌豆,蚕豆,萝卜菜,油菜,田菁,圣麻,猪尿豆,绿豆,豇豆,泥豆,紫穗槐,三叶草,沙打旺,满江红,水花生,水浮莲,水葫芦,蒿草,苦刺,金尖菊,山杜鹃,黄荆,马桑,扁莢,山黧豆,青草,桤木,粒粒苋,小葵子,黑麦草,印尼大绿豆,络麻叶,空心莲子草,山青,葛藤,红豆草,茅草,含羞草,马豆草,松毛,蕨菜,合欢,马缨花,大狼毒,麻栎叶,绊牛豆,鸡豌豆,菜豆,芭藤,薄荷,野烟,麻柳,山毛豆,秧青,无芒雀麦,橡胶叶,稗草,狼尾草,红麻,杞豆,竹豆,过河草,串叶松香草,苍耳,小飞蓬,叶扫帚,多变小冠花,大豆,飞机草等
土杂肥类	草木灰,泥肥,肥土,焦泥灰,屠宰场废弃物堆肥,熟食废弃物堆肥,蔬菜废弃物堆肥,酒渣,粉渣,豆腐渣,醋渣,味精渣,糖粕,食用菌渣,酱渣,磷脂肥,药渣,羽毛渣,骨粉,尿灰,杂灰,烟厂渣等
饼肥类	豆饼,菜子饼,花生饼,芝麻饼,茶籽饼,桐籽饼,棉籽饼,柏籽饼,葵花籽饼,蓖麻籽饼,胡麻籽饼,烟籽饼,兰花子饼,线麻籽饼,槐籽饼等
海肥类	鱼类,鱼杂类,虾类,虾杂类,贝类,贝杂类,海藻类,植物性海肥,动物性海肥
腐殖酸类	褐煤,风化煤,腐殖酸钠,腐殖酸钾,腐混肥,腐殖酸,草炭,草甸土等
农业城镇废弃物	城市垃圾,生物污水,粉煤灰,钢渣,工业废水,污泥,工业废渣,肌醇渣,生活污水,糠醛渣等
沼气肥	沼液,沼渣

注:摘自全国农业技术推广服务中心编写的《中国有机肥料资源》。

随着商品经济的发展,工厂化加工的有机肥料大量涌现,有机肥料已超出农家肥的局限,向商品化方向发展。2002 年我国农业部首次发布了《NY 525—2002 有机肥料》国家行业标准,2012 年修订发布《NY 525—2012 有机肥料》国家行业标准,标准中对有机肥料的定义为:主要来源于植物和(或)动物,经过发酵腐熟的含碳有机物料,其功能是改善土壤肥力、提供植物营养、提高作物品质。有机肥料应为褐色或灰褐色,粒状或粉状,无机械杂质,无恶臭。其养分含量指标详见表 1.2。有机肥料中重金属、蛔虫卵、大肠杆菌等有害指标的控制应符合国家标准 GB 8172 的要求,重金属和有害微生物控制指标见表 1.3。

表 1.2 有机肥料产品养分含量指标

项 目	指标	项 目	指标
有机质含量	≥45%	水分含量(游离水)	≤30%
养分含量(N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	≥5%	酸碱度(pH)	5.5~8.5

表 1.3 重金属和有害微生物控制指标

项目	指 标	项 目	指 标
As	≤15 mg/kg	Hg	≤2 mg/kg
Cd	≤3 mg/kg	粪类大肠杆菌群数	≤100 个/g
Pb	≤5 mg/kg	蛔虫卵死亡率	≥95%
Cr	≤150 mg/kg		

二、生物有机肥料

生物有机肥料是指特定功能微生物与主要以动植物残体(如畜禽粪便、农作物秸秆等)为来源并经无害化处理、腐熟的有机物料复合而成的一类兼具微生物肥料和有机肥料效应的肥料。生物有机肥料执行国家行业标准 NY 884—2012,生物有机肥料的技术指标应符合表 1.4 要求。生物有机肥料中重金属控制指标应符合国家标准

GB 8172 的要求,重金属控制指标见表 1.3。

生物有机肥料除具有有机肥料的作用外,还具有生物肥的作用。如具有增进土壤肥力,活化土壤中难溶的化合物供作物吸收利用,或可产生活性物质和抗、抑病物质,对农作物的生长有良好的刺激与调控作用,可减少或降低作物病虫害的发生。

表 1.4 生物有机肥料技术指标

项 目	技术指标
有效活菌数(亿/g)	≥ 0.20
有机质(以干基计)	$\geq 40.0\%$
水分	$\leq 30.0\%$
pH 值	5.5~8.5
粪大肠菌群数(个/g)	≤ 100
蛔虫卵死亡率	$\geq 95\%$
有效期(月)	≥ 6

三、堆肥

堆肥是一门古老的学科,按处理工艺可分为好氧堆肥和厌氧堆肥。好氧堆肥指在有氧气情况下有机物料的分解过程,其代谢产物主要是二氧化碳、水和热;而厌氧堆肥则是在无氧气条件下有机物料的分解,厌氧分解最后的代谢产物是甲烷、二氧化碳和许多低分子量的中间产物,如有机酸等。厌氧堆肥与好氧堆肥相比较,单位重量的有机质降解产生的能量较少,而且厌氧堆肥通常容易发出臭味。我国传统堆肥以厌氧堆肥为主,而现代堆肥系统则大都采用好氧堆肥。

我国对堆肥的制作远早于目前西方的记载,最早见于《齐民要术》的《杂说》篇,称之为“踏粪法”:“凡人家秋收治田后,场上所有穰、谷积等,并须收贮一处。每日布牛脚下,三寸厚;每平坦收聚堆积之;还依前布之,经宿即堆聚。计经冬一具牛,踏成三十车粪。至十二

月、正月之间,即载粪粪地……”《杂说》是后人补入《齐民要术》的,时间估计在唐朝(公元 8 世纪左右)。对堆肥的科学记载是南宋时期《陈敷农书》的《善其根苗》篇(1149 年):“于始春又再耕耙转,以粪壅之,若用麻枯尤善。但麻枯难使,须细杵碎,和火粪窖罨,如作曲样;候其发热,生鼠毛,即摊开中间热者置四旁,收敛四旁冷者置中间,又堆窖罨;如此三四次,直待不发热,乃可用,不然即烧杀物矣。”这一记载详细描述了好氧堆肥的过程、方法和特点。而西方对堆肥的介绍起始于 1940 年由英国农学家 Albert Howard 出版的《农业圣典》(An Agricultural Testament)一书,该书介绍了 Howard 于 1905~1934 年在印度创造的堆肥技术,也就是广为人知的 Indore 方法。该方法是现代堆肥的第一个有组织的技术方案,其实施程序是:① 在地上铺一层干草,为堆体提供一个基础;② 一层层地建堆,首先铺 15 cm 厚的“绿色物质”,如作物废弃物或树叶,接着铺 5 cm 厚的粪便,然后在上面覆盖一薄层表层土壤或石灰石(注意绿色物与粪便的体积比为 3:1);③ 重复铺层直至堆高达到 1.5 m。在 3 个月内每隔 6 周翻一次堆。Indore 方法之所以成功是因为堆体会像预言的一样发热,而且不会腐败。至少有两个原因使这项技术成为迈向现代堆肥系统的重要一步。首先,它提供了基质的配方,这比只用一种简单的基质得到的堆肥效果好,这就意味着堆肥原料调理的重要性得到了认识。第二,它认识到成功的堆肥一定要满足科学的操作步骤,在原料配方和操作步骤确定后可得到可重复的结果。

关于堆肥还没有一个被广泛认同的定义。欧盟堆肥品质检查委员会把堆肥定义为:“在通风条件下,通过自身发热分解的产物,是一类不会招致害虫,无臭气,可防止病菌繁殖的有机物。”英国堆肥协会(UKCC,现英国有机循环协会)的定义与欧盟的定义也完全一致。美国堆肥协会(USCC)则认为堆肥为:“有控制地通过生物分解有机废弃物后得到的产物,在分解过程中产生的热量可使原材料得到无害化和稳定化以有益于植物生长,其物理性质与初始的原材料已截然不同。堆肥是一种有机质资源,其特有的性质可以改善土壤或生长基质的化学、物理和生物性质,它虽含有植物养分,但还不是一种典型肥料。”加拿大堆肥协会的定义是:“堆肥是一自然的生物过程,

它在可控条件下把有机物转化成一种稳定的、类腐殖质的产品。堆肥过程中主要通过微生物,包括细菌和真菌把有机物分解为简单的化合物。堆肥是一好氧过程,意味着微生物需要氧气来完成其工作。”日本于2000年修订的肥料管理法中把传统堆肥定义为:“把稻秸、稻壳、树皮、动物的排泄物及其他动植物的有机物质(污泥及鱼贝类的内脏器官除外)进行堆积或搅拌,腐熟而成的肥料。”日本有机资源协会于2003年出版的堆肥化手册则把堆肥化定义为:“在堆积、搅拌、通风的好氧状态下,利用微生物分解原材料中的有机物,分解产生的热量可使水分蒸发,能杀死病原菌、寄生虫卵和杂草种子,是一安全、卫生、有机物稳定化的过程。”

目前,我国对堆肥的定义为:在人工控制和一定的水分、C/N比值和通风条件下通过微生物的发酵作用,将废弃有机物转变为肥料的过程。通过堆肥化过程,不稳定状态的有机物转变为稳定的腐殖质物质,堆肥产品不含病原菌,不含杂草种子,而且无臭无蝇,可以安全处理和保存,是一种良好的土壤改良剂和有机肥料。

由此可见,堆肥实际上就是废弃物稳定化的一种方式,但它需要特定的湿度和通气条件以产生适宜的温度。一般认为温度要高于55℃,保持这种温度可以使病原菌失活,并杀死杂草种子。堆肥后残留的有机物分解率较低并趋于稳定,其臭味得到明显控制。

堆肥实际上也是一种脱水工艺,由于其主要依赖微生物作用,不需要外部能量,因此具有低投入、低成本、产品增值等特征,受到废物处理界的欢迎。

本书主要介绍在当前农业生产体制下,以农作物秸秆和禽畜粪便为主要原料就地制作有机肥料的堆积技术、生产组织方式及其在烤烟上的使用技术。

第二节 有机肥料的作用

20 世纪中期以来,由于化肥的大量使用,人们一度对有机肥重视不够,使用面积和施用量逐渐减少,导致施肥效益递减和农产品品质下降。随着市场经济的发展和人们对绿色食品需求的不断提高,对农产品品质也有了更高的要求,因此,有机肥的施用引起了人们的广泛关注。大量的研究表明,施用有机肥不但可以提高作物产量,培肥地力,而且能改善农产品品质。有机肥料种类繁多,其加工原料十分广泛,肥料性质也千差万别。但从肥料角度归纳,它在农业生产中主要起到以下几个方面的作用。

一、提供作物生长所需的养分

有机肥料富含作物生长所需的养分,能源源不断地供给作物生长。除矿物质养分外,有机质在土壤中分解产生的二氧化碳,可作为作物光合作用的原料,有利于提高作物产量。提供养分是有机肥料作为肥料的最基本特性,也是有机肥料最主要的作用。同化肥相比,有机肥料在养分供应方面有以下显著特点。

1. 养分全面

有机肥料不仅含有作物生长必需的 16 种营养元素,还含有其他有益于作物生长的元素,可全面促进作物生长。

2. 养分释放均匀长久

有机肥料所含的养分多以有机态形式存在,通过微生物分解转变成植物可利用的形态,养分可缓慢释放,长久供应作物。相比较而言化肥所含养分均为速效态,施入土壤后,肥效快,但有效供应时间短。

3. 养分含量低

纯有机肥料所含的养分比较低,应在使用时配合使用化肥,以满

足作物旺盛生长期对养分的大量需求。

二、改良土壤结构,增强土壤肥力

1. 增加土壤有机质,培肥土壤

土壤有机质是土壤肥力的重要指标,是形成良好土壤环境的物质基础。土壤有机质由土壤中未分解的、半分解的有机物质残体和腐殖质组成。施入土壤中的新鲜有机肥料,在微生物作用下,分解转化成简单的化合物。同时经过生物化学的作用,又重新组合成新的、更为复杂的、比较稳定的土壤特有的大分子高聚有机化合物,为黑色或棕色的有机胶体,即腐殖质。腐殖质是土壤中稳定的有机质,对土壤肥力有重要影响。

石屹等在 1999~2003 年连续 5 年对有机肥料的定位还田与土壤性状的关系进行研究发现,连续 3 年施用有机肥后,示范区和对照区土壤有机质含量接近,连续 4 年施用有机肥后,示范区土壤有机质含量较对照区增加了 0.06 个百分点,连续 5 年施用有机肥料后示范区土壤有机质含量较对照区增加了 0.26 个百分点,比连续 3 年施用有机肥增加了 0.1 个百分点。说明田间施用有机肥料,土壤的有机质不会马上明显提高,坚持多年施用,有机质含量才会有明显提高。

2. 改善土壤物理性状

有机肥料在腐解过程中产生羟基一类的配位体,与土壤黏粒表面或氢氧聚合物表面的多价金属离子相结合,形成团聚体,无论酸性土壤或石灰性土壤,均能促进团粒的形成;有机肥料的密度一般比土壤小,施用有机肥料能降低土壤容重,改善土壤通气状况,使耕性变好。有机质保水能力强,比热容较大,导热性小,颜色又深,较易吸热,调温性好。

3. 提高土壤保肥、保水能力

有机肥料在土壤溶液中解离出氢离子,具有很强的阳离子交换能力,施用有机肥料可增强土壤的保肥性能。土壤矿物颗粒的吸水量最高为 60%,腐殖质的吸水量为 400%~600%,施用有机肥料,可

增加土壤持水量,一般可提高 10 倍左右。因此,有机肥能提高土壤保肥、保水性能。

三、提高土壤生物活性,促进作物生长,改善农产品品质

有机肥料是微生物取得能量和养分的主要来源,使用有机肥料有利于土壤微生物活动,促进作物生长发育。微生物在活动中或死亡后所排出的物质,不只是氮、磷、钾等无机养分,还能产生谷酰胺酸、脯氨酸等多种氨基酸,多种维生素,还有细胞分裂素、植物生长素、赤霉素等植物激素。这些生物活性物质能促进作物根系发育,更好地吸收养分,从而促进作物生长发育,改善农产品的品质,使蔬菜中硝酸盐、亚硝酸盐含量降低,维生素 C 含量提高,增加瓜果中的含糖量。

四、提高解毒效果,净化土壤环境,减轻作物病害

有机肥料有解毒的作用。例如,增施鸡粪或羊粪等有机肥料后,土壤中有毒物质对作物的毒害可大大减轻或消失。有机肥料的解毒原理在于有机肥料能提高土壤阳离子代换量,增加对镉的吸附。同时,有机质分解的中间产物与镉发生螯合作用形成稳定性络合物而解毒,有毒的可溶性络合物可随水下渗或排出农田,提高了土壤的自净能力。有机肥料一般还能减少铅的供应,增加砷的固定。厩肥中含有大量抗病的放线菌群,它们的代谢产物,可以减轻作物的病害。小松太郎等的蔬菜栽培试验证明,大量施用猪粪后,土壤中细菌和放线菌增加,土壤中原有的病原菌和从外部侵入的病原菌的活动受到抑制,起到所谓“土壤的静菌作用”。因此可以减轻黄瓜的蔓割病和由丝核菌所引起的幼苗立枯病。