

煤基复混肥与菌肥配施 对土壤性状及玉米生长的影响

Study on Soil Properties and Maize Growth of Coal-derived
Compound Fertilizer Combined with Bacterial Manure

郭汉清 著



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

煤基复混肥与菌肥配施对土壤 性状及玉米生长的影响

郭汉清 著

中国农业大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书结合国内外有机无机复混肥研究进展,利用粉煤灰、煤泥和风化煤等工矿区固体废弃物为基本原料,与尿素、氯化钾和磷肥等化肥进行复混,研制并生产了煤基复混肥。在此基础上,通过单施煤基复混肥及其与菌肥配施等方式,分别在复垦区和熟土区进行了大田试验,系统研究了不同施肥处理对土壤肥力、土壤生物性状、作物生长、产量品质及水肥利用效率等的影响,以期揭示煤基复混肥及其与菌肥配施对作物生长和土壤性状的影响机理,并为煤基复混肥各组分调整以及扩大煤基复混肥在实践生产中的应用提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤基复混肥与菌肥配施对土壤性状及玉米生长的影响/郭汉清著.—北京:中国农业大学出版社,2016.5

ISBN 978-7-5655-1574-3

I. ①煤… II. ①郭… III. ①混合肥料-细菌肥料-影响-土壤肥力-研究 ②混合肥料-细菌肥料-影响-玉米-植物生长-研究 IV. ①S158 ②S513

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 103886 号

书 名 煤基复混肥与菌肥配施对土壤性状及玉米生长的影响
作 者 郭汉清 著

策划编辑 梁爱荣

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 11.25 印张 205 千字

定 价 30.00 元

责任编辑 梁爱荣

责任校对 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出版部 010-62733440

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

本书在“工矿废弃地生态系统恢复与重建关键技术研究示范
(项目编号:20121101009)”支持下完成

前 言

工矿区固体废弃物是指在工矿区生产、生活和其他活动中产生的,在当前经济技术条件下难以利用的固态物质。由于国民经济和社会发展的需要,对自然资源的开发利用强度越来越大。与此同时,大量的固体废弃物产生且得不到有效利用,许多固体废弃物只是经过简单处理甚至没有处理就被随意丢弃或排放到自然环境中,由此占用了大量的土地资源,导致周边生态环境(土壤、水体和大气环境)污染加剧。同时,大量的工矿区废弃物堆存或待处理也会制约工矿企业的发展,加剧矿区人地矛盾,威胁到周边人居环境的安全。因此,实现工矿区固体废弃物的无公害和资源化利用是学界所共同面临的课题。

本书以工矿区固体废弃物农业资源化利用研究为目的,将理论与实践相结合,以空间换取时间的方法,在复垦区和长期耕作区同时进行试验研究,主要包含煤基复混肥对土壤化学、生物学、玉米生长和水肥利用效率的影响研究。全书共分8章。第1章介绍了土地复垦和土壤培肥的国内外进展及土壤微生物多样性研究的现状。第2章说明了煤基复混肥在复垦区和长期耕作区的试验研究设计、供试材料及研究方法。第3章主要研究分析了煤基复混肥的研制过程。第4章至第7章分别研究分析了煤基复混肥与生物菌肥进行配施对复垦土壤和长期耕作土壤的化学性状、微生物性状、玉米生长和产量、作物水肥利用的影响。第8章对研究进行了总结,并对本研究所涉方向和范围进行了展望。

本书所涉研究内容较多,外业和内业工作量较为繁重。为此特别感谢山西农业大学资源环境学院洪坚平教授、谢英荷教授对本研究的全程指导;感谢卜玉山教授、王宏富教授、郝建平教授对试验设计、分析项目的确定进行的指导;感谢南宏伟博士对本书撰写、数据处理等方面的帮助;感谢冯两蕊老师、张小红老师、孟会生老师、梁利宝老师、李廷亮老师和白秀梅老师提供的帮助。感谢山西省农业科学院实验基地和古交市复垦区实验基地为本研究开展提供的帮助。另外,本研究过程中

许多研究生和本科生付出了辛勤的劳动,在此一并致谢。

作者从 2009 年开始进行工矿区固体废弃物农业资源化利用研究,限于学术水平,研究深度尚需挖掘,且对研究中所涉科学问题的解释和分析存在诸多不足,书中漏洞或错误在所难免,恳请读者批评指正。

郭汉清

于山西农业大学

2016 年 2 月

目 录

1 土地复垦研究概述	1
1.1 工矿区土地复垦研究背景	1
1.2 工矿区复垦土地研究进展	2
1.2.1 国内土地复垦研究进展	2
1.2.2 国外土地复垦研究进展	6
1.3 土壤培肥研究进展	7
1.3.1 国内土壤培肥研究进展	7
1.3.2 国外土壤培肥研究进展	13
1.4 土壤微生物多样性研究	14
1.4.1 复垦土壤微生物多样性研究现状	14
1.4.2 土壤微生物多样性研究方法	15
1.5 研究价值及创新	17
1.5.1 研究意义和主要研究内容	17
1.5.2 本研究的科学价值及创新性	18
2 试验材料与方法	20
2.1 研究区概况	20
2.1.1 古交市屯兰矿废弃物复垦区(试验区一)	20
2.1.2 山西省农业科学院东阳试验基地(试验区二)	20
2.1.3 供试材料	21
2.2 试验设计与实施	21
2.2.1 试验设计	21
2.2.2 试验实施	22
2.3 土样采集时期及分析方法	23
2.4 试验统计方法	23
3 煤基复混肥料研制	24
3.1 有机-无机复混肥相关标准	24
3.2 供试材料	25

3.2.1	煤基复混肥供试材料来源及其分析化验	25
3.2.2	煤基复混肥原料分析化验方法	25
3.2.3	煤基复混肥供试材料养分含量	25
3.3	试验所用仪器	27
3.4	煤基复混肥制备	27
3.4.1	实验室煤基复混肥制备	27
3.4.2	煤基复混肥试生产	27
3.5	煤基复混肥养分含量	28
3.6	讨论	28
3.7	结论	30
4	煤基复混肥不同处理对土壤化学性状的影响	31
4.1	试验设计与分析项目	31
4.2	煤基复混肥不同处理对复垦土壤养分的影响	32
4.2.1	煤基复混肥不同处理对复垦土壤全量养分含量的影响	32
4.2.2	煤基复混肥不同处理对复垦土壤速效养分含量的影响	34
4.3	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤养分的影响	39
4.3.1	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤全量养分含量的影响	39
4.3.2	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤速效养分含量的影响	42
4.4	讨论	47
4.5	小结	48
5	煤基复混肥不同处理对土壤生物性状的影响	50
5.1	试验设计与分析项目	51
5.1.1	样品采集	51
5.1.2	分析项目和方法	51
5.2	煤基复混肥不同处理对土壤微生物 PLFA 量的影响	52
5.2.1	煤基复混肥不同处理对复垦区土壤微生物 PLFA 量的影响	52
5.2.2	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤微生物 PLFA 量的影响	59
5.3	煤基复混肥不同处理对土壤微生物量碳氮的影响	65
5.3.1	煤基复混肥不同处理对复垦区土壤微生物量碳氮的影响	65
5.3.2	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤微生物生物量碳氮的影响	69
5.4	煤基复混肥不同处理对土壤酶活性的影响	73
5.4.1	煤基复混肥不同处理对复垦区土壤酶活性的影响	73
5.4.2	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤酶活性的影响	79

5.5	讨论	84
5.5.1	煤基复混肥不同处理对复垦区土壤微生物生物量的影响规律	84
5.5.2	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤微生物生物量的影响规律	87
5.5.3	煤基复混肥不同处理对土壤微生物量碳氮及酶活性的影响规律	87
5.6	小结	90
6	煤基复混肥不同处理对玉米生长和产量的影响	91
6.1	试验设计与分析项目	92
6.1.1	样品采集	92
6.1.2	样品测定	92
6.2	煤基复混肥不同处理对复垦区玉米生长和产量品质的影响	92
6.2.1	煤基复混肥不同处理对复垦区玉米株高的影响	92
6.2.2	煤基复混肥不同处理对复垦区玉米干物质积累的影响	95
6.2.3	煤基复混肥不同处理对复垦区玉米产量及穗部性状的影响	96
6.2.4	煤基复混肥不同处理对复垦区玉米籽粒品质的影响	98
6.3	煤基复混肥不同处理对熟土区玉米生长和产量品质的影响	101
6.3.1	煤基复混肥不同处理对熟土区玉米株高的影响	101
6.3.2	煤基复混肥不同处理对熟土区玉米干物质积累的影响	103
6.3.3	煤基复混肥不同处理对熟土区玉米产量性状的影响	104
6.3.4	煤基复混肥不同处理对熟土区玉米籽粒品质的影响	106
6.4	讨论	108
6.4.1	煤基复混肥不同处理对玉米株高和干物质积累的影响	109
6.4.2	煤基复混肥不同处理对玉米产量的影响	109
6.4.3	煤基复混肥不同处理对玉米籽粒品质的影响	110
6.5	小结	110
7	煤基复混肥不同处理对作物水肥利用的影响	112
7.1	试验设计与分析项目	113
7.1.1	样品采集与处理	113
7.1.2	肥料利用率计算公式	114
7.2	试验区玉米生育期降水量分布特征	114
7.3	煤基复混肥不同处理对土壤水分状况及水分利用效率的影响	115
7.3.1	煤基复混肥不同处理对复垦区土壤水分状况及水分利用效率的影响	115

7.3.2	煤基复混肥不同处理对熟土区土壤水分状况及水分利用效率的影响	119
7.4	煤基复混肥不同处理对玉米氮、磷、钾积累量及利用效率的影响	122
7.4.1	煤基复混肥不同处理对复垦区玉米氮、磷、钾素积累的影响	122
7.4.2	煤基复混肥不同处理对复垦区玉米氮、磷、钾肥利用效率的影响	124
7.4.3	煤基复混肥不同处理对熟土区玉米氮、磷、钾素积累量的影响 ..	127
7.4.4	煤基复混肥不同处理对熟土区玉米氮、磷、钾素利用率的影响 ..	129
7.5	讨论	132
7.5.1	煤基复混肥不同处理对玉米田土壤水分状况及水分利用效率的影响	133
7.5.2	煤基复混肥不同处理对氮、磷、钾肥利用率的影响	134
7.6	小结	136
8	结论与展望	137
8.1	结论	137
8.1.1	煤基复混肥料研制及其主要参数	137
8.1.2	煤基复混肥不同处理对土壤养分含量的影响	137
8.1.3	煤基复混肥不同处理对土壤生物性状的影响	138
8.1.4	煤基复混肥不同处理对玉米生长及产量品质的影响规律	139
8.1.5	煤基复混肥不同处理对作物水肥利用的影响	140
8.2	展望	140
	参考文献	142

1 土地复垦研究概述

1.1 工矿区土地复垦研究背景

在“人口—资源—环境”系统中,土壤资源处于基础地位。农业土壤资源减少及其土壤质量下降严重威胁我国的粮食安全、生态安全和居民健康,也给我国的可持续发展带来巨大挑战。矿产资源开发是我国经济发展社会进步的重要支撑,资料表明,2012年我国万元GDP能源消费量为0.76t标准煤。煤炭的生产和消费在矿产资源中占有很大比例(图1-1和图1-2)。与此同时,矿产资源开采也给矿区及周边的自然环境和生态系统带来严重破坏,尤其是对土地资源的破坏。资料表明,我国煤矿开采对土地资源的破坏比例最大,且每年以4万hm²的速度增加,而这些被破坏的土地复垦率不足15%。由于煤炭资源与耕地分布呈复合或重叠态势,其区域面积占我国耕地总量的40%,这一现状加剧了我国人均土地不足、粮食安全生产的压力大等矛盾(胡振琪,2006)。据估算,历年来我国因各种生产建设项目遗留的废弃地达2亿亩。一些新建的生产建设项目仍在不断损毁土地。土地复垦与生态重建已成为确保18亿亩耕地的主要潜力之一,成为解决失地农民就业、缓解工农矛盾、实现城乡用地增加挂钩、发展现代农业最重要的保障措施之一(白

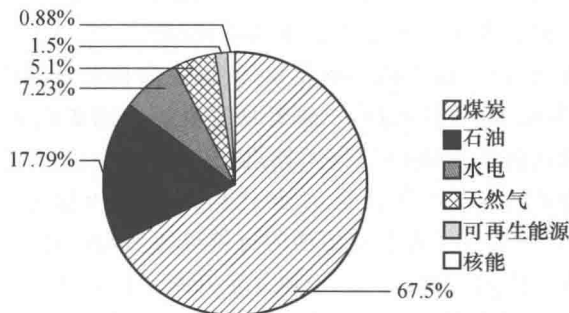


图 1-1 2012 年中国能源生产结构图

Fig. 1-1 The structure of energy production

数据来源:2013年中国能源统计年鉴

中科,2010)。总之,矿山开采破坏环境、挤占耕地,诱发严重的社会问题。近几十年来,矿山废弃地土地复垦和生态恢复一直是跨学科研究热点(魏远,2012)。

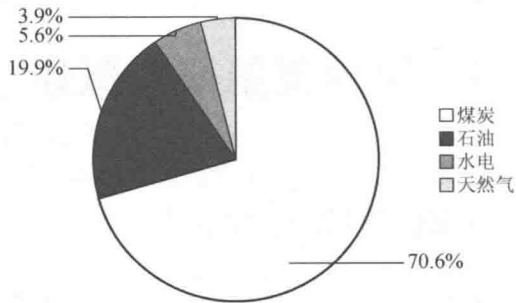


图 1-2 2012 年中国能源消费结构图

Fig. 1-2 The structure of energy consumption

1.2 工矿区复垦土地研究进展

1.2.1 国内土地复垦研究进展

1.2.1.1 国内土地复垦研究历程

我国土地复垦根据其发展历程和各个历程的主要特点大约分为三个阶段。

第一个阶段为 20 世纪 50 年代至 80 年代。我国对煤矿或其他矿山的土地复垦起源于 20 世纪 50 年代,当时只是少数矿山或单位出于矿区土地紧缺,自发组织进行了零星土地复垦工作。由于当时对于土地复垦工作无先例可循,只是部分企业自发组织和实施的较小规模的工作。事实上,我国在 20 世纪 80 年代前,土地复垦的技术和管理粗放,加之没有统一的复垦标准,主要由企业或职工将其复垦为耕地,因此,截至 20 世纪 80 年代初期,全国开展复垦工作的矿山企业不足 1%,已复垦利用的土地不到被破坏土地的 1%(黄铭洪,2003)。

第二个阶段为 20 世纪 80 年代至 90 年代初。到了 20 世纪 80 年代,既要满足当代人的需要,又不损害后代人利益发展的可持续发展理论在人均资源不足、生态环境薄弱这一现状下提出。我国对于土地复垦开展了矿区的生态环境及可持续发展为主要理念的理论探索和实践。1988 年颁布《土地复垦规定》和 1989 年颁布《中华人民共和国环境保护法》,标志着我国土地复垦事业从自发、零散状态进入有组织的修复治理阶段(魏远,2012)。这一阶段,土地复垦的技术主要是表土剥离、

裂缝充填、人工造地,复垦目标为耕地或林草地等方面。与第一阶段相比,从技术上讲,二者采用的复垦措施都比较单一,且没有显著的差异。从复垦目标上讲,第一阶段复垦目标单一为农业耕作,第二阶段调整为优先农用。第二阶段与第一阶段的主要差别在于国家、政府逐渐重视土地复垦工作,并出台了相关的政策法规,部分科研院所也因此开始在项目支持下较多地开展土地复垦的理论研究和实践探索,其中生态演替理论的提出和实施在矿山废弃地土地复垦和生态恢复等方面有重要意义,该理论以人为干预等手段促进矿山废弃地的生态恢复,可使演替的时间缩短。

第三阶段为20世纪90年代末至今。由于生物学、生态学、土壤学和计算机等高新技术的引入和应用,我国对于土地复垦的技术和手段逐渐多样,复垦目标也强调要因地制宜、农林牧等协调发展。其中1999年1月1日生效的《中华人民共和国土地管理法》有力推动了土地复垦工作。相关的《全国土地开发整理规划》、《土地开发整理规划编制规程》、《土地开发整理项目规划设计规范》等的颁布使土地复垦工作有章可循。由于法律法规体系、土地复垦理论体系的逐步建立,我国矿山治理工作取得较大进展,废弃地复垦系数从5%提高到了12%(石书静,2010)。

1.2.1.2 国内土地复垦研究进展

1. 土地复垦法规和制度的研究

1989年1月1日生效实施的国务院《土地复垦规定》,标志着我国土地复垦开始走上法制的轨道(李广信,2008)。1999年初生效的《中华人民共和国土地管理法》有力推动了土地复垦工作。2011年国务院颁布的《土地复垦条例》明确规定对生产建设活动和自然灾害损毁的土地要采取整治措施,使其达到可利用状态。与此同时,对矿区土地复垦的保证金制度(崔爱玲,2009)、复垦监管制度(贺振伟,2012;申梦思,2012)、公众参与制度等研究也开始实施(张弘等,2013;罗明,2013),较为明显地推动了土地复垦工作在全国范围内展开。但是,由于我国土地复垦法律法规在制定中存在法律价值体现不足、法律内容不完备、法律形式不合理等问题,在复垦监管过程中也存在可操作性不强、配套措施欠缺、监督不到位等现象。因此,如何建构和完善我国矿区土地复垦法律体系还有待不断地研究、论证和探索(张乐,2010)。

2. 土地复垦技术和模式研究

近年来,在引进参考国外先进土地复垦技术的同时,我国也在复垦措施方面不断推陈出新,表现在宏观技术和微观技术共同结合应用。除传统的表土剥离技术、土壤重构技术、植被恢复技术研究外,一些新技术如微生物技术、生物化学技术、计算机技术等也开始广泛应用。

接种微生物对煤矿废弃物有较为明显的改善效果(毕银丽,2006)。在不同施肥水平下,菌肥与化肥配施对复垦土壤酶活性及微生物量碳、氮有显著提高作用(梁利宝,2010;秦俊梅,2014)。施肥和土壤管理对土壤微生物量碳、氮和群落结构的变化有显著影响(毕明丽,2010)。不同土地利用方式对微生物量碳、氮有较大影响(赵先丽,2010)。

当前在土地复垦管理中,计算机技术应用逐渐广泛和深入。运用GIS空间叠加法从复垦类型空间分布、总体数量结构和复垦效益等方面对矿区土地复垦类型进行划分,可因地制宜实现矿区复垦土壤的有效管理(王占军,2014)。苏尚军(2011)运用“3S”技术,分析总结了国内外近20年来工矿区土地复垦信息化管理的发展状况,相应指出我国土地复垦管理体制、机制及技术规范中存在的问题,并建议尽可能提高计算机技术在工矿区土地复垦工作中的智能化、便捷化。

土地复垦模式的研究也较早地引起人们的关注,并主要集中于生态化复垦模式、产学研用模式和复垦项目管理模式等的研究(王金满,2010;白中科,2001)。潞安煤矿是我国大型煤炭生产基地之一,矿区土地复垦工作开展也较有特色。潞安矿区目前主要采用工程复垦模式进行土地复垦,其中工程复垦模式主要是利用粉煤灰、煤矸石作为沉陷区的充填材料,而非充填工程复垦模式则采用平整土地、疏排降和挖深垫浅等模式。两种方式对土地复垦均有一定现实意义,但是缺点也比较明显,如充填工程复垦模式因土壤的酸碱性过大、充填物中的有害物质含量较高等问题而不利于植物的生长;非充填复垦模式则由于土地平整或复垦后的土壤理化性状较差,土壤的保水、保肥能力较差,从而也会影响到复垦土地的使用效果(李晓,2011)。1986年以来,山西农业大学矿区土地复垦与生态重建课题组采用产学研等方式,与国内外多家科研院所和科研人员进行联合攻关,并将研究的阶段性成果应用于25项有关工矿企业土地复垦标准的制定和科技开发中。为整体推进山西省乃至黄土高原采矿废弃地的生态系统重建和可持续利用做出了较充足的技术储备(白中科,2004)。

3. 土地复垦效益研究

土地复垦的效益是人们一直关注的热点,在理论研究和实践探索中主要体现在复垦的经济效益、社会效益、生态效益以及复垦土壤质量的演变等方面。

史江涛(2013)以山西省某煤矿土地复垦为案例,从经济效益、社会效益和生态效益进行综合分析比较后,认为土地复垦给矿区带来的综合效益体现在多个方面,如土地复垦可为土地的再利用带来农业产值,且通过土地复垦可以减少矿方征地面积,从而节约了经济成本。由于土地复垦可以获得一定面积的林地、旱耕地、园地和牧草地,因此可以产生相应的经济效益。通过土地复垦,可以增加矿区生物多

样性,改善矿区空气质量,减少矿区的水土流失,由此获得明显的生态效益。矿区通过土地复垦,增加了新的就业机会,并且提高了公众对环境治理的满意度,由此获得较好的社会效益。章如芹(2013)通过选取多个参数,建立土壤质量评价体系,并对煤矸石复垦区的复垦效果进行评价后发现,复垦土壤质量在复垦3年后,就可达到正常农田对应层次的90%这一水平,表明合理的复垦方式对复垦土壤质量有良好效果。

吴迪(2014)通过分析计算煤炭开采导致的外部性损失以及复垦后的隐性效益,指出土地复垦不仅可以提高耕地质量,还可对环境、社会等具有正外部性影响。采用灰色关联分析方法对湖南省邵阳市5个土地复垦项目的研究表明,5个项目的耕地质量差异主要体现在生产力指标方面,农田基本建设对提高耕地的综合质量较为有利(吕焕哲,2009)。在马家塔露天矿复垦土壤长期监测表明,不同的复垦年限、不同的树种对于土壤质量的影响有明显差异(孙海运,2008)。

4. 土地复垦监测与评价研究

土地复垦监测是土地复垦监管的主要内容,是一项涉及多因子、多时段、多任务的系统性工作。目前,土地复垦监管仍处于探索阶段。由于土地复垦的多维性、长期性和复杂性的特点,尚有许多亟待解决的问题(周伟,2012)。在大力推行土地复垦工作的同时,现阶段需要加强土地复垦监管工作中的信息化管理,实现土地复垦监管指标体系的构建,严格管控复垦资金并创新土地复垦监管体制、制度以及工程管理方式(贺振伟,2012)。

对于土地复垦的评价研究主要体现在两个方面,一是评价理论研究,即注重评价标准、评价指标体系、评价方法、评价规则等;二是专项评价研究,即对复垦土地适宜性评价、复垦效益评价等。鄢瑞卿(2014)运用灰色系统理论,构建了岩矿山复垦效益综合评价模型,并对吉林省磐石地区3个典型矿山进行了效益评价。杨大兵(2011)采用 Arc Engine 等软件技术,对土地复垦适宜性评价等4个模型进行了集成,并开发了采煤塌陷区土地复垦评价系统,从而实现了塌陷区土地信息的网络化、信息化管理,具有地图操作、地表变形分析、土方量计算、复垦适宜性评价、复垦效益分析等功能。王世东(2012)在整合现有极限条件法、指数和法等若干方法的基础上,提出了一种新的极限综合评价法,并将该方法应用于鹤壁市第八煤矿的土地复垦工作中,结果认为新方法比传统的评价方法有更好的适用性,且操作简单,得出的评价结论更加合理。

1.2.2 国外土地复垦研究进展

1.2.2.1 国外土地复垦研究简述

根据其发展特点,国外土地复垦研究历程分为四个主要时段。①20世纪30年代前,土地复垦处于萌芽阶段。人们认识到土地复垦的重要性,复垦以农业用地为主,对污染土地或废弃地进行覆土,这一阶段相关的理论研究较少。②20世纪30年代至70年代,在土地复垦概念提出后,土地复垦越来越受到重视,采用的技术手段主要为土地平整、裂缝充填和表土剥离,复垦目标主要集中在农业和林业方面,并以经济利用为主。同时有关土地复垦研究也开始进行。③20世纪70年代末至80年代末,这一阶段理论研究开始活跃,土地复垦工作步入正轨,相关的土地复垦理论体系初步建立,一些国家通过立法来推动土地复垦的规范性。与上一阶段相比,这一阶段土地复垦目标以景观构造为主,并从以林业、农业利用为主拓展到了牧业、渔业和旅游业等方面(Hamby D M,1996;Krystyna M S,1995)。④20世纪90年代以来,国外的土地复垦理论体系逐步完善,而且土地复垦技术多样化,除了使用传统的矸石回填、土壤重构、表土剥离等技术,还引入了生物技术、化学技术以及计算机技术。在可持续发展理论指导下,以生态复垦、可持续发展为导向的混合复垦模式开始盛行(Ashton M S,2001)。

1.2.2.2 国外土地复垦工作研究现状

美国土地复垦管理工作在全球范围内处于领先地位,由此给其他国家的矿山土地复垦工作提供了众多借鉴(胡振琪,2001)。其主要经验为:①制定了严格的土地复垦法规和政策,在统一的土地复垦法律《露天采矿管理与恢复(复垦)法》指导下,矿山开采和土地复垦两手一起抓。根据规定,《复垦法》颁布前的废弃矿区由国家筹集资金进行复垦,《复垦法》颁布后的废弃矿区复垦按照“谁破坏、谁复垦”的原则进行,复垦率要求达到100%。美国的废弃矿区土地复垦率在2003年已达到85%,远高于我国的同期复垦率12%(高晴,2003)。②建立了完善的管理体制,美国矿山的土地复垦管理工作主要由内政部组织,矿业局、土地局和环保局参与,通过严格落实开采许可证制度,建立有效的复垦保证金制度,制定出详细的复垦验收标准,从而调动企业采用先进复垦技术的积极性(Kuipers J R,2000)。

德国煤炭矿山土地复垦管理也非常先进,其一体现在法律法规和政策方面,《联邦矿产法》对矿山开采过程中涉及相关单位和个人的责、权、利进行了详细的规定,在《联邦自然保护法》等相关法律的共同作用下,矿山土地复垦和生态重建具有坚实的法律保障。其二体现在制度方面,德国政府通过区域发展总体规划和采煤

(褐煤)规划建立相关控制体系,将企业的开采行为纳入该控制体系,要求采矿企业在作业之前编制企业规划,其中严格要求企业对自己行为进行详细描述,开采结束后应对矿山采取恢复治理措施。其三体现在技术方面,德国政府要求土地复垦工作开展不仅是简单的土地平整和绿化等,而且要求企业从整体布局考虑,实现区域总体的动态生物平衡,从而满足当地居民生产生活需要(金丹,2009)。

英国1949年就对土地复垦进行立法,法律授权地方政府恢复因采矿破坏的土地环境。1951年,英国的《矿物开采法》要求必须有专项资金用于因地面开采导致荒地的复原工作;1969年,英国颁布了《矿山采矿场法》,要求矿业主采矿时就必须规划好采后复垦和管理工作,并要求按农业或林业复垦标准对废弃地进行复垦。1980年,英国实施“弃用地拨款方案”,为土地复垦提供资金支持。1990年,英国颁布了《环境保护法》,该法首次将污染行为界定为犯罪,并出台了土地复垦抵押金制度。

澳大利亚实行政府出资复垦制度、全程公众参与制度、复垦保证金与复垦效果挂钩制度等各种制度。通过制度约束,将国家、企业和公众的利益有效地结合在一起,从而推动了该国的土地复垦工作(Cobby G,2006)。

另外,法国在1963年推出《区域规划法》,提出对废弃矸石的综合处理意见和土地利用政策,为土地复垦工作的开展提供了法律保障。俄罗斯、加纳、菲律宾和巴西等国也根据国情出台了与土地复垦相关的法律法规以及复垦保证金制度,通过政府设定企业进行资源开采的准入和准出制度、市场适当进行调节,促进企业开发先进技术措施,从法律、制度和市场等方面推动土地复垦工作进行(Lottermoser B G,2009;Juwarkar A A,2006;Krolikowska K,2009)。

1.3 土壤培肥研究进展

1.3.1 国内土壤培肥研究进展

1.3.1.1 无机肥施用对土壤培肥的研究

无机肥施用(氮肥和磷肥)对露天煤矿复垦土壤活性有机碳含量增加具有促进作用,且能降低土壤碳库顽固性指数(范继香等,2012)。单施无机肥对茶园土壤微生物生长和酶活性提高有不利影响,从而不利于维持茶园土壤生态系统的稳定性(林新坚等,2013)。黑土区试验研究表明,长期施用无机肥并不能明显改善土壤养分状况,还会对土壤微生物活动形成抑制作用(白震等,2008)。吉林省农科院30年定位培肥试验表明,单施化肥区耕层土壤全N和有机质含量降低严重、容重呈