



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

❖ 废物资源综合利用技术丛书

NONGZUOWU JIEGAN CHULI CHUZHUYU ZIYUANHUA

农作物秸秆 处理处置与资源化

梁文俊 刘 佳 刘春敬 等编著

梁文俊



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

❖ 废物资源综合利用技术丛书

NONGZUOWU JIEGAN CHULI CHUZH I YU ZIYUANHUA

农作物秸秆 处理处置与资源化

梁文俊 刘 佳 刘春敬 等编著



化学工业

· 北京 ·

本书系统介绍了农作物秸秆资源概况、秸秆还田利用技术、秸秆饲料化利用技术、秸秆能源化技术、秸秆食用菌栽培基料化利用技术、秸秆建筑技术、秸秆应用于环境污染治理技术等内容，并分享了很多经典的农作物秸秆资源化的案例，可使读者较全面地了解农业废弃物秸秆处理处置及资源化利用的全方位知识。

本书具有较强的技术性和可操作性，可供从事农作物秸秆利用的工程技术、研究、生产和经营管理人员使用，也可作为高等学校再生资源科学与技术、环境科学、环境工程及相关专业的研究生、本科生选作教学用书或教学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

农作物秸秆处理处置与资源化/梁文俊等编著. —北京:
化学工业出版社, 2018. 1

(废物资源综合利用技术丛书)

ISBN 978-7-122-30679-1

I. ①农… II. ①梁… III. ①秸秆-综合利用
IV. ①S38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 233662 号

责任编辑: 刘兴春 卢萌萌
责任校对: 王素芹

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 王晓宇

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: 三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 430 千字 2018 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: 75.00 元 版权所有 违者必究

《废弃物资源综合利用技术丛书》

编 委 会

主 任：岑可法

副 主 任：刘明华 陈冠益 汪 苹

编委成员（以汉语拼音排序）：

程洁红	冯旭东	高华林	龚林林	郭利杰	黄建辉
蒋自力	金宜英	梁文俊	廖永红	刘 佳	刘以凡
潘 荔	宋 云	王 纯	王志轩	肖 春	杨 帆
杨小聪	张长森	张殿印	张 辉	赵由才	周连碧
周全法	祝怡斌				

《农作物秸秆处理处置与资源化》

编著人员

编著者：梁文俊 刘 佳 刘春敬 李 坚 张 芸 杨竹慧

梁全明 任思达 蔡建宇 武红梅

据统计,我国作为农业大国,每年可生成7亿多吨秸秆。长期以来作为主要燃料的农作物秸秆已成为废弃物,或占用一定的农田常年堆积,或就地焚烧,秸秆焚烧不仅浪费大量资源,还会降低土壤有机质含量,烧死土壤表层微生物与动物,破坏土壤生态系统,而且会严重污染大气环境,制约农村经济的可持续发展,国家和地方已明令禁止秸秆焚烧。因此,实施秸秆资源化利用,对综合利用秸秆资源、改善和保护环境、实现农业和农村的可持续发展十分必要。

本书系统介绍了农作物秸秆利用现状、综合利用技术,主要包括用于肥料、能源、饲料和材料等的开发利用技术以及最新进展。第1章介绍秸秆种类、利用途径、意义以及存在问题;第2章至第7章围绕秸秆还田利用技术、秸秆饲料化利用技术、秸秆能源化技术、秸秆食用菌栽培基质化利用技术、秸秆建筑技术、秸秆应用于环境污染治理技术进行了详细介绍,具有较强的技术性和工程应用性,可供环境工程、能源工程、农业工程等领域的技术人员、科研人员和管理人员参考,也可供高等学校相关专业师生参阅。

参加本书编著的主要人员有北京工业大学梁文俊、刘佳,河北农业大学刘春敬;另外,张芸、杨竹慧、梁全明、任思达、蔡建宇、武红梅等参加了本书部分编著工作。全书最后由北京工业大学李坚教授统稿、定稿。

本书获得国家出版基金以及北京工业大学青年百人提升计划项目的出版资助,在此表示衷心的感谢!在本书的编著过程中,编著者参考并引用了部分文献资料,在此向所有被引用参考文献的作者们致以诚挚的谢意!可能由于编著者的疏漏,书中所列出的参考文献未必全面,在此,特向书中未能列出引用的作者们致以深深的歉意。

限于编著者编著时间和水平,书中难免出现疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编著者

2017年6月于北京

1 概述

1.1 农作物秸秆资源概况	001
1.2 秸秆种类和利用价值	002
1.2.1 秸秆种类	002
1.2.2 秸秆的利用价值	002
1.3 秸秆综合利用主要途径	003
1.3.1 秸秆肥料利用	003
1.3.2 秸秆制饲料	003
1.3.3 秸秆能源化利用	004
1.3.4 秸秆的工业化应用	005
1.4 农作物秸秆综合利用的意义、现状及问题	006
1.4.1 秸秆综合利用的意义	006
1.4.2 秸秆综合利用现状	008
1.4.3 秸秆综合利用存在的问题	009
参考文献	010

2 秸秆还田利用技术

2.1 秸秆还田机理	011
2.1.1 秸秆还田原理	011
2.1.2 秸秆还田方式	012
2.1.3 秸秆还田的优点	013
2.1.4 秸秆还田注意事项	015
2.2 秸秆还田机械化技术	015
2.2.1 秸秆还田机械化技术简介	015
2.2.2 秸秆粉碎还田机械化技术	020
2.2.3 玉米根茬粉碎直接还田机械技术	021
2.2.4 秸秆整秆还田机械化技术	022
2.3 秸秆堆沤还田技术	024
2.3.1 农作物秸秆自然发酵堆沤还田技术	024
2.3.2 秸秆堆沤腐熟技术	026

2.3.3	常见秸秆腐熟菌剂及使用	027
2.3.4	代表性农作物秸秆堆沤还田技术流程	029
2.3.5	秸秆堆沤进程判定	031
2.4	秸秆生物反应堆技术	032
2.4.1	秸秆生物反应堆技术原理及应用	032
2.4.2	秸秆生物反应堆技术流程	036
2.4.3	秸秆生物反应堆制作	037
2.4.4	秸秆生物反应堆技术操作要点	045
2.5	秸秆生产商品有机肥技术	048
2.5.1	农作物秸秆生产有机肥技术概述	048
2.5.2	秸秆有机肥工厂化生产技术原理	049
2.5.3	秸秆生产有机肥生产工艺流程	050
2.5.4	农作物秸秆生产有机肥技术要点	055
2.5.5	农作物秸秆有机肥料工厂生产模式	057
2.5.6	秸秆生产有机肥产品质量标准	058
2.5.7	农作物秸秆有机肥的施用量及施用方式	058
	参考文献	059

3 秸秆饲料化利用技术

3.1	秸秆饲料化利用简介	061
3.1.1	秸秆饲料化利用价值	061
3.1.2	秸秆饲料化利用方式	061
3.1.3	秸秆饲料化利用前景	061
3.2	秸秆青贮技术	062
3.2.1	青贮机理	062
3.2.2	青贮饲料的特点	062
3.2.3	秸秆青贮方式	062
3.2.4	青贮工艺技术	064
3.2.5	青贮饲料的品质鉴定	066
3.2.6	青贮饲料饲喂方法	067
3.2.7	工程实例	068
3.3	秸秆微贮技术	072
3.3.1	微贮技术与机理	072
3.3.2	秸秆微贮饲料的特点	073
3.3.3	微贮工艺	073

3.3.4	微贮饲料品质鉴定	075
3.3.5	饲喂方法	075
3.4	秸秆碱化处理技术	075
3.4.1	技术原理	075
3.4.2	碱化技术分类	075
3.5	秸秆氨化技术	077
3.5.1	氨化技术简介	077
3.5.2	氨化技术分类	079
3.5.3	工艺过程	081
3.5.4	品质鉴定	082
3.5.5	饲喂方法	082
3.5.6	工程实例	082
3.6	秸秆揉搓加工技术	085
3.6.1	技术原理	085
3.6.2	工艺过程	085
3.6.3	秸秆揉搓饲料评价标准	086
3.7	秸秆饲料热喷技术	086
3.7.1	技术原理	086
3.7.2	工艺过程	087
3.7.3	热喷饲料的效果	088
3.7.4	品质鉴定	088
3.8	秸秆压块饲料技术	089
3.8.1	技术原理及应用	089
3.8.2	技术流程及关键设备	090
3.8.3	技术操作要点	091
3.8.4	适宜区域	092
参考文献		092

4 秸秆能源化技术

4.1	秸秆成型燃料技术	093
4.1.1	秸秆成型燃料技术原理与特点	093
4.1.2	秸秆成型燃料制备技术	094
4.1.3	秸秆成型燃料的应用	100
4.1.4	秸秆成型燃料关键问题	100
4.1.5	工程实例	101

4.2 秸秆制沼气技术	102
4.2.1 技术原理与应用	103
4.2.2 技术流程	103
4.2.3 秸秆沼气技术操作要点	111
4.2.4 秸秆沼气工程应用案例	113
4.3 秸秆直接燃烧发电技术	114
4.3.1 技术原理与应用	114
4.3.2 秸秆直燃发电工艺流程	115
4.3.3 技术操作要点	117
4.4 秸秆炭化技术	117
4.4.1 技术原理与应用	117
4.4.2 技术流程	118
4.4.3 技术操作要点	121
4.5 秸秆气化技术	122
4.5.1 秸秆气化技术简介	122
4.5.2 秸秆气化集中供气工程	124
4.5.3 秸秆气化发电技术	129
4.5.4 秸秆炭-气-油联产技术	130
4.5.5 工程实例	134
4.6 秸秆降解制取乙醇技术	138
4.6.1 技术原理与应用	140
4.6.2 技术流程	145
4.6.3 技术操作要点	155
4.6.4 纤维素燃料乙醇的示范工程与应用	157
4.7 秸秆热解液化生产生物油技术	164
4.7.1 秸秆热解液化技术原理及影响因素	165
4.7.2 秸秆快速热解液化技术	167
4.7.3 农作物秸秆直接液化技术	171
4.7.4 秸秆热解产物生物油深加工技术	172
4.7.5 秸秆热解液化制备生物油技术的发展历程及发展方向	173
参考文献	175

5 秸秆食用菌栽培基料化利用技术

5.1 农作物秸秆基料化利用技术原理	177
5.1.1 秸秆栽培食用菌技术原理与应用	177

5.1.2 秸秆栽培食用菌的意义	179
5.2 秸秆栽培草腐生菌类技术	180
5.2.1 秸秆栽培双孢菇技术	180
5.2.2 秸秆栽培草菇技术	187
5.3 秸秆栽培木腐生菌类技术	194
5.3.1 技术原理与应用	194
5.3.2 常见平菇栽培方式	195
5.3.3 平菇栽培技术流程	198
5.3.4 注意事项	202
5.3.5 适用区域	203
5.4 秸秆食用菌基料化利用工程实例	203
5.4.1 案例1 天津市郊区金三农农作物秸秆和畜粪生产食用菌基料工程	203
5.4.2 案例2 四川省成都市大邑县稻秸和牛粪等作基料大田栽培双孢菇 示例	204
5.4.3 案例3 四川省什邡市湔氐镇农业废弃物作基料熟料袋栽培黄背木耳 示例	205
参考文献	205

6 秸秆建筑技术

6.1 概述	207
6.1.1 秸秆建筑的优点	207
6.1.2 秸秆建筑的产生及发展	211
6.2 秸秆作为建筑材料	212
6.2.1 概述	212
6.2.2 秸秆砖	213
6.2.3 秸秆复合板	215
6.2.4 秸秆混凝土砌块	216
6.2.5 秸秆混凝土	218
6.3 利用秸秆砖的墙体结构	219
6.3.1 结构体系介绍	219
6.3.2 承重秸秆砖墙	220
6.3.3 非承重秸秆砖墙	220
6.3.4 秸秆层的隔热	221
6.4 秸秆建筑的物理性质	222
6.4.1 热存贮性和热传导性	222

6.4.2	保温隔热	223
6.4.3	防风性和气密性	223
6.4.4	防火与隔声	224
6.5	案例	224
参考文献.....		227

7 秸秆应用于环境污染治理技术

7.1	秸秆化学改性制备吸油剂	229
7.1.1	秸秆纤维素吸油机理	229
7.1.2	秸秆纤维素化学改性	230
7.1.3	秸秆化学改性方法	230
7.2	秸秆制备生物炭	231
7.2.1	生物炭制备技术简介	232
7.2.2	生物炭制备方法	232
7.2.3	秸秆生物炭在环境污染治理领域的应用	232
7.3	秸秆生产环保草毯	235
7.3.1	秸秆生产环保草毯技术	235
7.3.2	环保草毯技术应用	237
7.4	秸秆生产秸秆泥	238
7.4.1	秸秆生产秸秆泥技术	238
7.4.2	秸秆泥技术应用	238
7.5	秸秆制备绿色环保抑尘剂	239
7.5.1	国内外扬尘抑尘剂技术	239
7.5.2	秸秆制备环保抑尘剂技术	248
7.5.3	环保抑尘剂示范应用	266
参考文献.....		272

索引



概述

1.1 农作物秸秆资源概况

农作物秸秆是指各类农作物在收获了主要农产品后剩余的地上部分的所有茎叶或藤蔓。通常指小麦、水稻、玉米、薯类、油菜、棉花、甘蔗和其他农作物(通常为粗粮)在收获籽实后的剩余部分。农作物光合作用的产物有 1/2 以上存在于秸秆中,秸秆富含氮、磷、钾、钙、镁和有机质等,是一种具有多用途的可再生的生物资源,秸秆也是一种粗饲料,特点是粗纤维含量高(30%~40%),并含有木质素等。木质素纤维素虽不能为猪、鸡所利用,但却能被反刍动物牛、羊等牲畜吸收和利用。

目前,世界人口持续增长,人民消费水平不断提高,要求有更多的食物供给。人类为了从有限的土地资源中获得尽可能多的粮食产量,更多地使用化肥、农药、农业机械等现代农业生产方式。虽然粮食产量明显提高,但增加了单位面积上矿物能的投入,而且农作物秸秆的产量也大幅度增加。与过去明显不同的是,由于农业高效化肥的使用,牲畜饲料的日益丰富,农村中电力、煤气等洁净能源的普及等原因,一部分秸秆资源没有被充分资源化利用,被直接丢弃或者焚烧,这一方面会浪费资源,另一方面会间接地污染环境。因此,如何开发利用这类秸秆资源,使其在农业生产系统中实现物质的高效转化和能量的高效循环,是发展循环农业和低碳农业的重要实现途径。农作物秸秆资源高效利用不仅可以提高土壤肥力,保障环境安全,还可以实现农民生活系统中的家居温暖和环境清洁,是建设社会主义新农村的必经之路。

根据国家发展和改革委员会(简称发改委)、农业部共同组织各省有关部门和专家对全国“十二五”期间秸秆综合利用情况进行的终期评估结果,2015 年全国主要农作物秸秆理论资源量为 $1.04 \times 10^9 \text{ t}$,可收集资源量为 $9.0 \times 10^8 \text{ t}$,利用量为 $7.2 \times 10^8 \text{ t}$,秸秆综合利用率为 80.0%。从“五料化”利用途径看,秸秆肥料化利用量为 $3.9 \times 10^8 \text{ t}$,占可收集资源量的 43.3%;秸秆饲料化利用量为 $1.7 \times 10^8 \text{ t}$,占可收集资源量的 18.9%;秸秆基料化利用量为 $0.4 \times 10^8 \text{ t}$,占可收集资源量的 4.4%;秸秆燃料化利用量为 $1.0 \times 10^8 \text{ t}$,占可收集资源量的 11.1%;秸秆原料化利用量为 $0.2 \times 10^8 \text{ t}$,占可收集资源量的 2.2%。“十三五”期间,我国秸秆产生量还要增加,进一步加大秸秆综合利用工作力度,不断完善秸秆收贮运体系和扶持

政策，推动秸秆综合利用产业化、规模化发展势在必行^[1]。

1.2 秸秆种类和利用价值

1.2.1 秸秆种类

秸秆一般主要包括禾本科和豆科类作物秸秆。其中，属于禾本科的作物秸秆主要有麦秸、稻草、玉米秸、高粱秸、荞麦秸、黍秸、谷草等；属于豆科的作物秸秆主要有黄豆秸、蚕豆秸、豌豆秸、花生藤等；此外，还有红薯、马铃薯和瓜类藤蔓等。

1.2.2 秸秆的利用价值

秸秆的综合利用途径主要有 5 种：a. 用作肥料；b. 用作饲料；c. 用作燃料；d. 用作工业原料；e. 用作食用菌基料。

(1) 秸秆的肥料价值

秸秆中含有大量的有机质、N、P、K 和微量元素，是农业生产中重要的有机质来源之一。据统计，每 100kg 鲜秸秆中含 N 0.48kg、P 0.38kg、K 1.67kg，折合成传统肥料相当于 2.4kg 氮肥、3.8kg 磷肥、3.4kg 钾肥。将秸秆还田可以提高土壤有机质含量，降低土壤容重，改善土壤透水、透气性和蓄水保墒能力，除此之外，还能够改变土壤团粒结构，有效缓解土壤板结问题。若每公顷土壤基施秸秆生物肥 3750kg，其肥效相当于碳酸氢铵 1500kg、过磷酸钙 750kg 和硫酸钾 300kg。因此，充分利用秸秆的肥料价值还田，是补充和平衡土壤养分的有效措施，可以促进土地生产系统良性循环，对于实现农业可持续发展具有重要意义。

(2) 秸秆的饲料价值

农作物秸秆中含有反刍牲畜需要的各种饲料成分，这为其饲料化利用奠定了物质基础。测试结果表明，玉米秸秆含碳水化合物约 30% 以上、蛋白质 2%~4% 和脂肪 0.5%~1%。草食动物食用 2kg 玉米秸秆增重净能相当于 1kg 玉米籽粒，特别是采用青贮、氨化及糖化等技术处理玉米秸秆后，效益更为可观。为了提高秸秆饲料的适口性，还可对农作物秸秆进行精细加工，在青贮过程中加入一定量的高效微生物菌剂，密封贮藏发酵后，使其变成具有酸香气味、营养丰富、适口性强、转化率高、草食动物喜食的秸秆饲料。

(3) 秸秆的燃料价值

作物秸秆中的碳使秸秆具有燃料价值，我国农村长期使用秸秆作为生活燃料就是利用秸秆的这一特性。农作物秸秆中碳占很大比例，其中粮食作物小麦、玉米等秸秆含碳量可达 40% 以上。目前对于科学利用秸秆这一特性主要有两种途径：一种途径是将秸秆转化为燃气，1kg 秸秆可以产生 2m³ 以上燃气；另一种途径是将秸秆固化为成型燃料。

(4) 秸秆的工业原料价值

农作物秸秆的组成成分决定其还是一种工业制品原料，除了传统可以作为造纸原料外，秸秆工业化利用还有多种途径：第一，在热力、机械力以及催化剂的作用下将秸秆中的纤维与其他细胞分离出来制取草浆造纸、造板；第二，以秸秆中的纤维作为原料加工成汽车内饰件、纤维密度板、植物纤维地膜等产品；第三，将作物秸秆制成餐具、包装材料、育苗钵

等，这是近几年流行的绿色包装中常用的原材料；第四，利用秸秆中的纤维素和木质素作填充材料，以水泥、树脂等为基料压制成各种类型的纤维板、轻体隔墙板、浮雕系列产品等建筑材料。

(5) 秸秆的食用菌基料价值

农作物秸秆主要由纤维素、半纤维素和木质素三大部分组成，以纤维素、半纤维素为主，其次为木质素、蛋白质、树脂、氨基酸、单宁等。以秸秆纤维素为基质原料利用微生物生产单细胞蛋白是目前利用秸秆纤维素最为有效的方法之一。用秸秆作培养基栽培食用菌就是该原理的实际应用。

1.3 秸秆综合利用主要途径

1.3.1 秸秆肥料利用

秸秆肥料化利用的主要形式是秸秆还田，该技术是我国秸秆资源化利用中最原始的技术，尤其是秸秆直接还田，因其易被掌握，在目前仍被大量应用。直接还田主要包括秸秆覆盖还田和秸秆粉碎翻压还田两种形式。秸秆间接还田中的沤制还田、过腹还田、过圈还田等技术在农村地区仍普遍使用，而高温堆肥和厌氧消化后的高效清洁利用由于存在许多因素的制约目前应用还不够成熟。

除可以采用留高茬、覆盖、堆沤还田、机械还田和过腹还田等形式外，还可以采用特殊工艺科学配比，将秸秆经过粉碎、酶化、配料、混料、造料等工序后生产秸秆复合肥，其成本与尿素接近，施用后对于促进土壤养分转化、改善土壤物理性质、增强农作物抗病能力，优化农田生态环境都有良好的效果。同普通复合肥相比，粮食可以增产 10%~20%，蔬菜增产 30%~40%，水果增产 25%~40%，且水果含糖量可以提高 1%~3%。此外，秸秆生物反应堆、秸秆粉碎后经一系列加工处理后制成固体棒状炭，燃烧后产生的二氧化碳可以作为气体肥料用于大棚或温室的蔬菜水果种植。秸秆还田不仅有利于农作物增产，而且降低了劳动强度，培肥了地力，还可以减轻病虫害危害。

(1) 直接还田

直接还田方法简便，能促进土壤养分转化，改善土壤物理性质，保持土壤水分，平衡土温，提高作物产量。直接还田特别适于我国北方旱作农业的持续发展。

(2) 过腹还田

把秸秆作饲料喂养家畜，再利用家畜粪便还田作肥料，此法可节约饲料量和牧草，既能发展养殖业，又能提高土壤肥力。养畜过腹还田，带动了养殖业的快速发展^[2]。

(3) 秸秆堆沤还田

采用堆沤等形式，经过微生物作用产生多种酶，促进农作物秸秆中的有机物降解，发酵分解转化为可供植物生长发育需要的有机肥料。

1.3.2 秸秆制饲料

秸秆饲料化利用方式主要包括秸秆青贮、氨化、微贮、碱化-发酵双重处理、膨化饲料、热喷及生产单细胞蛋白等加工技术，从而使农作物秸秆中的纤维素、半纤维素、木质素等转

化为含有丰富菌体蛋白、微生物等成分的生物蛋白质饲料。其中碱化-发酵双重处理和热喷技术是目前较为理想的秸秆饲料化利用技术。

(1) 氨化饲料

秸秆氨化是指用含氮源的物质(液氨、氨水、尿素、碳铵等)处理农作物秸秆,使秸秆更适合草食牲畜饲用的一种方法。秸秆经过氨化后,其消化率、含氮量、适口性、能量价值、饲喂安全性、保存性等都得到不同程度的提高。

(2) 青贮饲料

秸秆青贮是在适宜的条件下,加入发酵菌,通过厌氧发酵,使秸秆变成具有酸香味、草食家畜喜食的饲料。秸秆青贮可提高饲料的适口性和消化率;有效减少秸秆晒干后营养成分的大量流失,而且形成的酸性环境能抑制微生物的繁衍,防止霉变,从而达到保存饲料的目的。

(3) 秸秆制生物蛋白饲料

陈庆森等以玉米秸秆为原料,发酵制取生物蛋白饲料,发酵液中秸秆纤维素利用率可达70%,粗蛋白质得率在23%以上,大大提高了玉米秸秆的营养价值,同时为替代饲用粮、生产蛋白富集饲料提供了很好的基料。

1.3.3 秸秆能源化利用

秸秆能源化利用技术主要有秸秆直燃发电、秸秆气化、秸秆发酵制沼气、秸秆成型燃料及秸秆炭化技术等^[3]。

(1) 秸秆直燃发电技术

作为传统的能量转换方式,秸秆直接燃烧具有经济方便、成本低廉、易于推广等特点,可在秸秆主产区为中小型企业、政府机关、中小学校和相对比较集中的乡镇居民提供生产、生活热水和冬季采暖。目前,秸秆锅炉供暖、发电或热电联产已在英国、荷兰、丹麦等国家应用。我国秸秆直燃供热技术起步较晚,适合我国农村特点的、运行费用低廉的小型秸秆直燃锅炉正在研发中。

(2) 秸秆气化集中供气技术

秸秆气化是秸秆资源高附加值利用的一种生物能转化方式。秸秆粉碎后,在气化装置内不完全燃烧即可获得理论热值为 $5724\text{kJ}/\text{m}^3$ 的燃气,燃气的主要成分:CO 20%, H_2 15%, CO_2 12%, CH_4 2%, O_2 1.5%, N_2 49.5%。燃气经降温、多级除尘和除焦油等净化和浓缩工艺后,由风机加压送至贮气柜,然后经管道输送供用户使用。秸秆气化集中供气系统主要包括秸秆处理装置、气化机组、燃气输配系统、燃气管网和用户燃气系统等五部分。秸秆气化具有经济方便、干净卫生等特点,但存在投资高、燃气热值偏低以及燃气中氮气与焦油含量偏高等问题,还不能大规模推广应用。

(3) 秸秆发酵制沼气

秸秆制沼气是指多种微生物在厌氧条件下,将秸秆转化成沼气和副产物沼液、沼渣的过程。沼气的主要成分是甲烷,占50%~70%,是高品位清洁燃料。甲烷可在略高于常压的状态下,通过PVC管道输送到农户,用于炊事、照明、果品保鲜等。

(4) 秸秆成型压块及炭化技术

秸秆成型压块是指秸秆经粉碎后在 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 高温下软化,然后添加适量黏结剂与水

混合，施加一定压力使其固化成型，即得到棒状或颗粒状“秸秆炭”，还可进一步经炭化炉加工处理使其成为具有一定机械强度的“生物煤”。

秸秆成型燃料具有以下优点：a. 制作工艺简单，可加工成多种形状，体积小，贮运方便；b. 品位较高，利用率可提高到 40% 左右；c. 使用方便，干净卫生，燃烧时污染极小；d. 除民用锅炉外，还可用于热解气化产煤气、生产活性炭及各类“成型”炭。

1.3.4 秸秆的工业化应用

秸秆的工业用途广泛，不仅可用作保温材料、纸浆原料、菌类培养基、建筑材料、各类轻质板材和包装材料的原料，还可用于编织业，酿酒制醋，生产人造棉、人造丝、饴糖等，或从中提取淀粉、木糖醇、糖醛等。

(1) 秸秆编织制品加工技术

秸秆用于编织业最常见的是稻草编织。草帘、草苫等可用于设施蔬菜的温室大棚中；草席、草垫既可保温防冻，又具有吸汗防湿的功效；而品种繁多的草编织品、工艺品和装饰品，由于工艺精巧，透气保暖性好，装饰性佳，深受国内外消费者的喜爱。

(2) 秸秆制建筑材料技术

将粉碎后的秸秆按一定比例加入黏合剂、阻燃剂和其他配料，进行机械搅拌、挤压成型、恒温固化，可制得高质量的轻质建材。这些装饰板成本低、重量轻、美观大方，且在生产过程中无污染。目前，秸秆在建材领域内的应用已相当广泛，秸秆消耗量大、产品附加值高，又能节约木材，很有发展前景。

(3) 秸秆制备扬尘覆盖剂技术

随着我国经济建设的飞速发展，大规模的土地开发和道路改造形成的建筑裸露地、建筑弃土成为二次扬尘的源头，对大气环境质量带来极大的影响。据北京市环保局 2014 年对北京地区 PM_{2.5} 源的解析显示，排放源以机动车、燃煤、工业生产、扬尘为主，分别占比 31.1%、22.4%、18.1% 和 14.3%，因此可以看出，控制扬尘污染已经成为改善空气质量的重要手段。

利用废弃的农作物秸秆制成扬尘覆盖剂，喷洒于建筑工地的裸露土堆及工厂等地的裸露煤堆，形成一个覆盖层，以固定沙尘、降低空气中的可吸入颗粒物，提高空气质量。目前应用的绿色环保扬尘覆盖剂主要由玉米秸秆制作而成。传统的控制施工工地扬尘的方法常采用密目网和化学覆盖剂等方法，这些方法不是控制扬尘效果不理想，就是会对土壤造成不良影响。而绿色环保覆盖剂不仅对环境没有影响，而且喷洒后覆盖扬尘效果好，有效弥补了原有方法的不足。

(4) 用作食用菌基料

秸秆营养丰富、来源广泛、成本低廉，非常适合用作食用菌的培养基料。目前国内外用各类秸秆生产的食用菌品种已达 20 多种，不仅可培育草菇、香菇、凤尾菇等一般品种，还可培育黑木耳、银耳、猴头、毛木耳、金针菇等名贵品种。相关数据表明：100kg 稻草秸秆可生产平菇 160kg 或黑木耳 60kg；100kg 玉米秸秆可生产平菇或香菇等 100~150kg，生产银耳或猴头、金针菇等 50~100kg。

(5) 生产工业原料

秸秆作为工业原料在国内开发利用起步较晚，但由于其来源丰富、价格低廉且经济效益

显著, 目前已经成为极具潜力的发展领域。经过碾磨处理后的秸秆纤维与树脂混合物在金属模具中加压成型处理, 可以制作装饰板材和一次成型家具, 具有强度高、耐腐蚀、阻燃、美观大方及价格低廉的优点。这种秸秆板材的开发对于缓解我国木材供应数量不足和供求趋紧的矛盾、节约森林资源、发展人造板产业具有十分重要的意义。秸秆还可以采取爆破制浆等技术, 代替木材和棉花生产高质量的人造纤维浆粕, 可以作为化纤制品和玻璃纸生产的主要原料, 亦可以广泛应用于抽丝织布、无毒塑料、胶片、火药、无毒食品包装袋、一次性卫生筷、快餐饭盒的生产。特别是利用秸秆纤维生产的快餐饭盒保温隔热效果好, 强度、挺度佳, 制造工艺简单可靠, 生产成本低, 产品附加值高, 使用后可以自然生物降解, 无毒无害, 还能用作饲料和肥料, 不产生任何环境污染, 可以成为塑料材质制成的快餐饭盒的理想替代产品。

1.4 农作物秸秆综合利用的意义、现状及问题

1.4.1 秸秆综合利用的意义

(1) 秸秆综合利用是改善农村卫生条件的清洁工程

目前, 我国正在大力推进社会主义新农村建设, 要使广大农村走上生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。党的“十七大”明确提出建设生态文明的战略任务, 要求到2020年全面建成小康社会, 把中国建设成为生态环境良好的国家。党的“十八大”首次单篇论述生态文明, 把“美丽中国”作为未来生态文明建设的宏伟目标。因此, 要建设社会主义新农村, 必须走建设生态乡镇的道路, 推进农村环境保护工作, 守住农村的“青山绿水”, 着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展^[4]。

目前, 随着农村小城镇建设的逐渐加快, 农民的经济状况和居住环境有所改观, 但秸秆乱垛、粪土乱堆、垃圾乱倒、污水乱泼、畜禽乱跑等“五乱”现象在农村还普遍存在。尤其是秸秆随意堆放在房前屋后这种传统的收集贮藏方式, 不仅导致秸秆资源大量浪费, 而且成为鼠、蚊、蝇等病虫害的滋生场所和火灾隐患, 非常不利于社会主义新农村的建设。因此, 搞好秸秆的综合利用工作, 改善农村脏、乱、差的公共卫生状况, 解决农村环境问题, 是保障社会主义新农村建设的重要举措。秸秆的综合利用, 不仅可以促进农民传统生活方式的改变, 提高农民生活质量, 还可以减轻农村妇女的劳动强度, 使广大农民走向清洁、卫生、健康的生活之路^[4]。

(2) 秸秆综合利用是建设资源节约型、环境友好型社会的能源工程

改革开放以来, 我国的经济建设取得了巨大进步, 与此同时, 也带来了严重的资源和环境问题。尤其是能源短缺问题, 已成为我国人口众多基本国情下限制经济可持续发展的主要瓶颈问题。据《2007年度全国农村可再生能源统计汇总表》(农业部科技教育司和农业部能源环保技术开发中心)统计: 2007年我国农村能源消费量(主要由煤炭、火电、成品油、天然气、液化气、煤气等化石能源和水电、秸秆、薪柴、沼气等可再生能源构成)为 8.97×10^8 tce(标准当量煤), 约为全国能源消费总量的30%。但农村人均能源消费量仅为城镇人均的1/3。假如我国农村人均能源消费量达到目前城镇人均消费水平, 将使全国商品能源消费量在现实基础上净增1/2以上, 这会进一步加剧我国的能源供给压力。因此, 农村能源问