



农作物秸秆 开发利用技术

田宜水 孟海波 编著



化学工业出版社
生物·医药出版分社

程, 2004.

- [106] 宁开林. 实用饲料分析手册. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [107] 刘芳. 不同添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [108] 刘芳. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [109] 刘芳. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [110] 刘芳. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [111] 刘芳. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.

农作物秸秆 开发利用技术

田宜水 孟海波 编著

- [122] 田宜水, 张少敏等. 秸秆饲料开发利用现状及前景展望. 草业科学, 2002, 19(3): 53-54.
- [123] 田宜水. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [124] 田宜水, 张少敏等. 秸秆饲料开发利用现状及前景展望. 草业科学, 2002, 19(3): 53-54.
- [125] 田宜水. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [126] 田宜水. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [127] 田宜水. 饲料添加剂对青贮饲料质量影响的实验研究. 中国农业大学学报, 2003, 18(3): 24-27.
- [128] Zielinski K, Zastawny J, Wrobel B. Improvement of grass quality by inoculation with lactic acid bacteria and enzymes. The 10th International Silage Conference, 2002, 204-205.
- [129] Ustun-Archundia M E, Bolan K K, Breen B E. A study of the chemical and changes in whole maize silage.



化学工业出版社
生物·医药出版分社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

农作物秸秆开发利用技术/田宜水, 孟海波编著. —北京:
化学工业出版社, 2007. 12
ISBN 978-7-122-01634-8

I. 农… II. ①田…②孟… III. 秸秆-综合利用 IV. S37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 186920 号

责任编辑: 邵桂林
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 赵爱萍
装帧设计: 关 飞

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

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 13¼ 字数 276 千字 2008 年 3 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: 29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

农作物秸秆是指在农业生产过程中,收获了小麦、玉米、稻谷等农作物以后,残留不能食用的根、茎、叶等废弃物。农作物秸秆是农业生物质资源的主要来源之一,农作物光合作用的产物一半在子实中,一半在秸秆里。

我国是粮食生产大国,也是秸秆生产大国。据统计,每年产量约6亿多吨,蕴藏着丰富的能量,以及大量的营养物质,开发利用潜力巨大,发展前景十分广阔。长期以来,由于社会经济发展等条件的制约,人们一直把秸秆看作是农业的副产品,存在重粮食利用、轻秸秆利用的传统观念。农作物秸秆大部分用做烧火做饭、饲养牲畜、盖房、取暖和肥田等。

世界各国都普遍重视农作物秸秆的综合利用。利用的途径主要集中在能源、饲料和肥料三个方面。这是世界上秸秆资源利用的普遍趋势。与发达国家相比,我国虽然在这些领域分别开展了秸秆的开发利用,但我国秸秆综合利用水平还比较低。秸秆综合利用的政策不完善,综合利用技术研发水平落后,秸秆利用研究与推广脱节,目前还有2亿多吨秸秆没有开发利用,已经利用的也是粗放的低水平利用。进一步开发利用秸秆,已经成为农业生产资源开发和环境保护的新焦点。提高农作物秸秆的综合利用水平,也是实现高产优质高效农业,促进农村经济发展和帮助农民致富的迫切需要和重要途径之一。

本书系统地介绍了农作物秸秆资源产量、分布、利用现状与未来发展趋势,开发利用技术,包括能源、饲料和肥料等开发利用技术,以及最新进展,使读者了解到全方面知识。内容丰富、文字深入浅出、技术实用可靠,融科学性、先进性和通俗性于一体。可供从事此项工作的干部、技术人员和广大农民阅读,也可供大专院校师生参考。

全书由田宜水、孟海波编著。其中,第一章、第二章、第三章、第八章、第九章由田宜水编著,第四章、第五章、第六章、第七章由孟海波编著。

目前,秸秆利用技术发展较快,由于时间仓促和作者水平所限,书中难免存在不足和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2007年8月26日

目 录

1 绪论	1
1.1 秸秆的结构与组成	1
1.1.1 禾本科作物植株的结构	1
1.1.2 秸秆的组成	2
1.1.3 秸秆与木材的比较	3
1.2 秸秆资源的产量与分布	5
1.2.1 评价方法	5
1.2.2 秸秆的产量与分布	6
1.2.3 农产品加工业副产品的产量	9
1.3 秸秆综合利用及在生态农业系统中的作用	10
1.3.1 秸秆的综合利用途径	10
1.3.2 秸秆在农业生态系统中的利用	11
1.4 秸秆开发利用中存在的问题	12
2 秸秆的收集与预处理	14
2.1 秸秆的收集	14
2.2 秸秆清洗处理	17
2.3 秸秆的干燥处理	18
2.3.1 原料的干燥机理与特性	18
2.3.2 干燥方法与设备	18
2.4 秸秆粉碎处理	21
2.4.1 原理与方法	21
2.4.2 工艺流程	22
2.4.3 锤片式粉碎机	23
2.4.4 评定与选用	24
3 秸秆生产能源技术	27
3.1 基本概念	27
3.1.1 能源的概念和种类	27
3.1.2 生物质能	31
3.2 秸秆的燃料特性	34
3.2.1 秸秆的成分与特性	34
3.2.2 燃烧的基本过程	37
3.2.3 影响燃烧速度的因素	39

3.3	省柴灶	40
3.3.1	省柴灶的基本结构	40
3.3.2	省柴灶节能原理	41
3.3.3	省柴灶施工	42
3.3.4	省柴灶热性能试验方法	43
3.4	节能炕	45
3.4.1	节能炕的结构	45
3.4.2	节能炕节能原理	46
3.4.3	节能炕的设计	47
3.4.4	节能炕施工	50
3.5	秸秆燃烧及发电技术	50
3.5.1	工业燃烧技术	50
3.5.2	生物质燃烧发电/热电联产	58
3.5.3	热电联产	62
3.5.4	生物质与煤的混合燃烧技术	63
3.5.5	秸秆灰的利用	67
3.6	秸秆气化技术	67
3.6.1	气化的基本原理	68
3.6.2	生物质气化设备	71
3.6.3	生物质燃气	75
3.6.4	秸秆气化集中供气系统	80
3.7	秸秆固体成型燃料技术	83
3.7.1	固体成型原理	83
3.7.2	工艺类型	85
3.7.3	固体成型设备	87
3.7.4	固体成型燃料	98
3.7.5	固体成型燃料的应用	102
3.7.6	欧盟生物质固体成型燃料标准	105
3.8	秸秆快速热解技术	109
3.8.1	快速热解工艺	110
3.8.2	几种热解反应器	110
3.8.3	生物原油的燃料特性	112
3.8.4	生物原油的应用	114
3.9	秸秆干发酵生产沼气技术	115
4	秸秆生产饲料技术	117
4.1	秸秆饲料的构成与营养	117
4.1.1	秸秆的构成及特性	117
4.1.2	秸秆的营养价值	118

4.2	秸秆饲用价值的改进方法	121
4.2.1	物理处理	122
4.2.2	化学处理	123
4.2.3	生物学处理	124
4.2.4	复合处理	125
4.3	秸秆青贮技术	125
4.3.1	秸秆青贮原理与设备分类	125
4.3.2	青贮方式与调制方法	126
4.3.3	影响青贮饲料质量的因素	127
4.3.4	青贮饲料添加剂	130
4.3.5	青贮饲料质量评定方法	132
4.3.6	青贮技术应用实例分析	135
4.4	秸秆碱化处理技术	135
4.4.1	秸秆碱化原理	135
4.4.2	氢氧化钠与石灰处理	136
4.5	秸秆氨化处理技术	137
4.5.1	秸秆氨化原理与氨源	137
4.5.2	秸秆氨化的方法	139
4.5.3	影响氨化饲料质量的因素	142
4.5.4	氨化饲料的质量评定方法	143
4.6	秸秆微贮技术	144
4.6.1	秸秆微贮的原理和优点	144
4.6.2	微贮设施的准备	145
4.6.3	秸秆微贮技术流程	145
4.6.4	饲喂秸秆微贮饲料的注意事项	146
4.6.5	秸秆微贮饲料的品质评定方法	147
4.7	秸秆热喷处理技术	147
4.7.1	热喷的作用机理与特点	147
4.7.2	热喷工艺	148
4.7.3	热喷饲料品质评定	149
5	秸秆饲料开发利用工程设施	150
5.1	工艺流程与设备	150
5.2	秸秆收集与运输机械	151
5.3	秸秆加工机械	152
5.4	秸秆的处理设备	156
5.4.1	常温氨化设备	156
5.4.2	加温氨化设备	156

6 秸秆生产肥料技术	159
6.1 秸秆肥料化及其意义	159
6.1.1 秸秆肥料化	159
6.1.2 秸秆肥料化的意义	159
6.2 秸秆还田	162
6.2.1 秸秆分解的科学原理	162
6.2.2 秸秆还田方法	163
6.2.3 秸秆还田模式	164
6.2.4 秸秆直接还田技术	165
6.2.5 秸秆间接还田技术	167
6.2.6 秸秆腐熟还田技术	168
6.2.7 秸秆还田工艺与机具	170
7 秸秆生产工业原料技术	174
7.1 秸秆生产工业原料技术	174
7.2 秸秆生产建筑材料	175
7.3 秸秆造纸技术	176
7.4 秸秆生产食用菌技术	178
7.5 秸秆作为纤维复合材料的工业化资源利用	179
8 农产品加工业副产品的利用技术	180
8.1 稻壳利用技术	180
8.1.1 发电技术	180
8.1.2 生产饲料	181
8.1.3 用作建筑材料	181
8.1.4 制取化工原料	181
8.2 玉米芯利用技术	182
8.2.1 生产糠醛	182
8.2.2 生产木糖醇	182
8.2.3 生产 D-木糖和 L-阿拉伯糖	182
8.2.4 生产黏结剂	183
8.3 甘蔗渣利用技术	183
8.3.1 工业原料	183
8.3.2 能源利用	184
8.3.3 化工原料	184
8.3.4 制备活性炭	185
8.3.5 生产饲料和肥料	185
9 秸秆利用技术进展与发展趋势	186
9.1 秸秆间接液化技术	186

9.2 秸秆降解制取燃料乙醇技术 187

9.2.1 纤维素资源的预处理 190

9.2.2 水解工艺 191

9.2.3 发酵工艺 194

9.3 甜高粱茎秆生产乙醇技术 196

参考文献 198

1

绪论

秸秆即农作物的茎秆，在农业生产过程中，收获了小麦、玉米、稻谷等农作物以后，残留不能食用的根、茎、叶等废弃物统称为秸秆。秸秆是一种具有多用途的可再生生物资源，农作物光合作用的产物有一半以上存在于秸秆中。

广义上讲，农作物秸秆不仅包括农业生产过程中的废弃物，还包括农产品加工过程中的副产品，具体包括以下几类。①禾本科作物秸秆，包括大麦秸秆、燕麦秸、小麦秸、黑麦秸、稻草、高粱秸、玉米秸秆以及薯类藤蔓等。②豆类茎秆，包括黄豆秸、蚕豆秸秆、豌豆秸、豇豆秸秆、羽扇豆秸和花生藤蔓等。③亚热带植物副产品，包括甘蔗渣、西沙尔麻渣、香蕉秆和叶等。④农作物加工过程中的副产品，包括玉米芯、各种麦类的糠麸，各种水稻的谷壳和米糠等。

1.1 秸秆的结构与组成

1.1.1 禾本科作物植株的结构

水稻、小麦、玉米、高粱等禾本科作物的植株由根、茎、叶、花和子实等器官组成。

(1) 茎 禾本科作物的茎呈圆筒状，茎中有髓或有空腔。茎可分为若干节，节与节之间的部分叫节段，每节间的坚硬圆实部分，称之（叶）节。节段的数目随不同种或品种作物而不同，水稻和小麦的茎秆比较细软，地上部分有5~6节，节间中空，曲折度大，有弹性。玉米、高粱和甘蔗的茎为实心，茎高大，地上部分节数有17~18节，节间粗、坚硬、不易折断。玉米植株顶端有雄穗，植株中间有雌穗，穗外有苞叶。苞叶包着生在轴蕊上的子粒。

禾本科作物茎的节间横切面上有3种系统：表皮系统、基本系统和维管系统。

禾本科作物表皮只有初生结构，一般为一层细胞，通常角质化或硅质化，以防止水分的过度蒸发和病菌侵入，并对内部其他组织起保护作用。各种器官中数量最多的组织是薄壁组织，也叫基本组织，它是光合作用、呼吸作用，养分储藏、分化等主要生命活动的场所，是作物组成的基础。维管束都埋藏贯穿在薄壁组织内。在韧皮部、木质部等复合组织中，薄壁组织起着联系作用。

在维管系统中，除薄壁组织外，主要有木质部和韧皮部，两者相互结合。禾本科作物维管束中木质部、韧皮部的排列多属于外韧维管束。小麦、大麦、水稻、黑麦、燕麦茎中维管束排成2圈，较小的一圈靠近外围，较大的一圈插入茎中。玉米、高粱、甘蔗茎中的维管束则分散于整个横切面中。木质部的功能是把茎部吸收的水和无机盐，经茎输送到叶和植株的其他部分。韧皮部则把叶中合成的有机物质（如碳水化合物和氮化物）输送到植株的其他部分。

在玉米茎表皮下有机械组织，由厚壁组织与厚角组织组成。这些组织能支持植株本身的质量并能防止风雨的袭击。厚壁组织含有石细胞和纤维一类的细胞。

(2) 叶 禾本科作物的叶分为叶鞘和叶片两部分。叶鞘包在茎的四周，有支持茎和保护茎的作用。叶鞘基部膨大的部分叫叶节。禾本科作物的叶上有的有叶耳、叶舌，有的则没有。例如，高粱有叶舌而无叶耳，小麦的叶耳小且有茸耳，大麦叶耳大，黑麦叶耳部明显，燕麦无叶耳，水稻有叶舌、叶耳，稗草则无叶舌、叶耳。

叶是进行光合作用的主要器官。叶的组织与茎的组织相同，分为表皮系统、基本系统和维管系统。表皮在叶的最外层，维管组织则分布在基本组织之中。

叶的表皮结构比较复杂，有泡状细胞（即运动细胞）、附属毛、似纤维的细胞。表皮细胞有长细胞、短细胞。短细胞又分为硅质细胞、栓质细胞，前者充满硅质体，后者细胞壁木栓化。表皮上下面还有气孔。表皮可以保护叶肉组织，防止水分蒸散，有机械支持叶的作用。表皮细胞质有硅质，细胞外壁有角质层，这是禾本科作物的特点。

叶肉是由表皮下团块状薄壁组织细胞所组成。叶肉组织中含有大量叶绿体，因此这些起同化作用的器官为绿色。进行光合作用时，叶绿体内有聚集淀粉的作用。

叶脉是维管束。禾本科作物没有平行脉，叶上纵行的平行脉之间还有横行的小维管束将平行脉连接起来。禾本科作物的叶脉有维管束鞘。维管束鞘有两种：一种为薄壁型，含有叶绿体；另一种壁较厚，无叶绿体。小麦有内外两层维管束鞘。玉米、高粱维管束鞘中的叶绿体特别大，在光合作用时，叶内可形成较多的淀粉。

1.1.2 秸秆的组成

秸秆主要是由纤维素、半纤维素和木质素三部分组成。纤维素的化学组成十分简单，是由 β -D-葡萄糖通过 β -1,4-糖苷键连接而成的线型结晶高聚物，聚合度很大（通常由4000~8000个葡萄糖分子串联起来，相对分子质量达200~2000）。葡萄糖的 β -1,4-糖苷键连接方式使纤维素的近乎所有羟基及其他含氧基团，都同其分子

内或相邻的分子上含氧基团之间，形成分子内和分子链之间的氢键。这些氢键使很多纤维素分子共同组成结晶结构，并进而组成复杂的基元纤维、微纤维、结晶区和无定形区等纤维素聚合物的超分子结构。纤维素的特殊结构使纤维素酶分子很难靠近纤维素分子内部的糖苷键进行有效的反应。

半纤维素在结构和组成上变化很大，一般由较短（聚合度小于 200）、高度分枝的杂多糖链组成。常见的有木聚糖、阿拉伯-木聚糖、葡萄-甘露聚糖、半乳-葡萄-甘露聚糖等，多通过 β -1,4-糖苷键连接，含有五碳糖（通常是 D-木糖和 L-阿拉伯糖）、六碳糖（D-半乳糖、D-葡萄糖和 D-甘露糖）和糖醛酸。各种植物纤维原料的半纤维素链上连接着数量不等的甲酰基和乙酰基，其分支结构使半纤维素无定形化，比较容易被水解为其组成糖类。

木质素是以苯丙基为基本结构单元连接而成的高分枝多分散性高聚物，非常难于降解。

纤维素是细胞壁的主要成分，在纤维素的周围充填着半纤维素和木质素，阻碍了纤维素酶同纤维素分子的直接接触。

主要农作物秸秆的原料组成见表 1-1。

表 1-1 主要农作物秸秆中纤维素、半纤维素、木质素含量

秸秆种类	纤维素/%	半纤维素/%	木质素/%
稻谷	32.0	24.0	12.5
小麦	30.5	23.5	18.0
玉米	34.0	37.5	22.0
大豆	33.0	18.5	

1.1.3 秸秆与木材的比较

农作物秸秆与木材同属于通过光合作用积累的可再生木质纤维素资源，但是，木材作为资源被大量利用，而秸秆却大量被废弃或焚烧。这是以下原因所导致。

① 秸秆生物结构的不均一性，即茎秆、叶、穗、鞘等各占一定比例，而且各部分的化学成分及纤维形态差异很大，某些部位的纤维特征还要优于某些阔叶纤维素，如麦草的节间和叶鞘、稻草的茎，这些部位中的纤维其长度和杨树纤维长度类似甚至长于杨树纤维，而且纤维比较窄，具有很高的长宽比（表 1-2、表 1-3），这说明秸秆的这些部位具有高值利用的潜力。收获秸秆一般不进行不同器官的分离，因此整株秸秆中含有多种器官和组织。而木材在采伐后，一般要进行剥皮处理，实际使用的是整个树干的木质部。

② 化学成分的差异，秸秆中含有大量半纤维素，灰分含量高，大于 1%，有些稻草则可高达 10% 以上。

③ 纤维形态的特征差异，秸秆中细小纤维组成及杂细胞组分含量高，多达 40%~50%，纤维细胞含量低至 40%~70%。而木材杂细胞含量低，纤维细胞含

表 1-2 麦草不同部位的纤维长宽比较表

项 目	长度/mm				宽度/mm				长宽比	
	平均	最大	最小	一般	平均	最大	最小	一般		
全部位	1.32	2.94	0.61	1.03~1.60	12.9	24.5	7.4	9.3~15.7	102	
不同部位	茎	1.52	2.63	0.66	1.07~1.88	14.0	27.9	8.3	12.7~18.6	109
	节间	1.21	2.39	0.39	0.85~1.56	11.5	24.5	7.4	8.8~15.7	105
	叶鞘	1.26	3.31	0.44	0.70~1.80	14.7	34.3	8.8	9.8~18.6	86
	叶	0.86	1.47	0.24	0.59~1.16	12.1	19.6	6.4	8.8~18.6	71
	节	0.47	1.29	0.18	0.24~0.77	17.8	43.1	8.3	9.8~27.0	26

表 1-3 若干种杨木纤维的形态特征

材种	胡杨	胡杨	山杨	毛白杨	大青杨	箭杆杨	214 杨	72 杨	63 杨	69 杨	大观杨
均长/mm	0.83	0.94	1.38	0.82	1.32	0.90	1.13	1.11	1.04	1.04	1.19
均宽/ μm	21.5	22.8	18.5	20.8	24.0	21.6	24.0	24.0	22.0	23.0	25.0
长宽比	38.6	41.2	74.6	39.4	55.0	41.7	47.1	46.3	47.3	45.2	47.6

量高，阔叶材含量为 60%~80%，针叶材含量达 90%~95%。从表 1-4 可以看出麦草与木材相比，无论在化学组成，还是在木质素、半纤维素的结构上都存在着较大差异。

表 1-4 麦草与木材的化学结构的比较

项 目		麦 草	木 材
木 质 素	木质素的酚羟基(C_9 苯丙烷单元)	0.4~0.45/ C_9	0.1~0.3/ C_9
	木质素的酚羟基	44/100 单元	9~13/100 单元桦木
	木质素的羟基	13.8/100 单元	
	木质素的羧基	0.1~0.2/ C_9	—
	木质素中对香豆酸、酯键	2.1%~2.8%	—
	木质素中阿魏酸	α 醚键	—
	磨木木质素相对分子质量(M_r)	7500	18200(桦木)
	木质素中单元比例(愈创木酚基:紫丁香基型木质素:紫丁香基丙烷, V:S:H)	1:0.77:0.31	1:1.2:0.05(阔叶木) 1:0.02:0.009(针叶木)
	木质素-碳水化合物复合物(LCC)	占易溶木质素的 60% 为 LCC	LCC
	半纤维素聚合度	84	>120
其 他	半纤维素结构组成	90%木聚糖	80%~90%木聚糖(阔叶木) 60%~70%甘露糖(针叶木)
	纤维素结晶度	40%~60%	60%~80%
	有机抽提物	1%以下	4%针叶木 1%以下,阔叶木
	灰分	8%(60%为 SiO_2)	1%以下($\text{CaO}, \text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}$)
	纤维特征	长 1.0~1.5mm	长 5mm
	细小纤维和杂细胞	39%	5%(针叶木) 25%(针叶木)

1.2 秸秆资源的产量与分布

1.2.1 评价方法

由于缺乏统计资料与评价方法不同，目前各地对生物质资源产量和分布的估计并不准确，误差较大，这将影响生物质资源的开发利用。因此，需要了解生物质资源状况。根据编者多年的评价经验和工作实践，现将农业生物质资源评价的通用方法总结如下，主要包括生物质资源的评价指标和评价方法等内容。

(1) 评价指标

① 资源总产量：是指某一地区某种农业生物质资源的总产量。因为生物质资源分布的比较分散，并与当地的自然条件、生产情况有关，统计起来比较困难，可以根据相关资料进行估算。

② 可收集资源量：考虑到收集过程中的损耗，可收集资源量与估算的产量并不相同。通常选取一个收集系数（ η ）进行计算，即：可收集资源量=资源产量 $\times$ 收集系数。在缺乏资料的情况下，农作物秸秆收集系数通常取 0.85。

③ 可供应资源量：农作物秸秆作为肥料必须要有一部分直接还田或过腹还田，满足土壤肥力需求；此外，农作物秸秆还可作为饲料、造纸等工业原料加以利用。因此，可供应资源量少于可收集资源量，这与各地实际利用情况有关。

④ 单位面积资源量：因为农业生物质资源通常均匀分布在某个区域，如果我们考虑国土面积，则单位面积资源量高的地区，从资源分布密度的角度来看，其生物质资源化利用的经济性要好。单位面积资源量等于某地的资源量除以其国土面积。

⑤ 成本：生物质资源成本由收集成本与运输成本组成。收集成本指生物质收集过程中发生的费用，包括收集、现场装卸、临时储藏以及短途运输等费用。由于具体计算较为困难，可采用机会成本进行替代。机会成本是指生物质资源用于能源用途，同时丧失了用于其他使用方式所能带来的潜在收入。如农作物秸秆如果用作燃料，就丧失作为饲料的机会，农作物秸秆作为饲料的价格可以作为其机会成本。

运输成本是指生物质资源从临时储藏点运输至处置地点的费用，每吨生物质资源的运输成本与运输距离成正比。

(2) 评价方法 首先进行文案调查、实地调查以及问卷调查，然后对所收集的数据进行编辑、组织、分类与计算，使调查的资料成为可供分析、预测的信息。

具体调查内容应包括：当地的自然资源、经济发展状况、城镇村落分布、劳动力成本等；农业与土地利用，包括耕地面积、作物种类及产量和草谷比；当地农产品加工业情况，包括分布、产量等。

每年秸秆产生的数量取决于当地气候条件，土壤条件和采用的农业技术，其中

差异非常大。一般根据农作物产量和各种农作物的草谷比，大致估算出各种农作物秸秆的产量，即农作物秸秆产量=农作物产量×草谷比。而农作物产量又等于播种面积乘以单位面积产量。我国不同地区常见农作物的草谷比见表 1-5。

表 1-5 我国不同地区常见农作物的草谷比

地 区	小 麦	水 稻	玉 米	棉 花	油 菜
北京	1.1236	0.9804	1.5873	3.4483	1.4925
天津	1.1236	0.9804	1.5873	3.4483	1.4925
河北	1.1236	0.9804	1.5873	3.4483	1.4925
山西	1.5152	0.9804	1.2346	3.4483	1.4925
内蒙古	1.5873	0.9091	1.3514	3.4483	1.4925
山东	1.3514	0.9804	1.0101	3.4483	1.4925
河南	1.3333	0.9709	1.1494	3.4483	1.4925
辽宁	1.5873	0.9091	1.3514	3.4483	1.4925
吉林	1.5873	0.9091	1.3514	3.4483	1.4925
黑龙江	1.5873	0.9091	1.2048	3.4483	1.4925
上海	1.0526	1.0417	1.0101	3.4483	2.7401
江苏	1.0526	1.0417	1.0101	3.4483	2.7401
浙江	1.0753	0.8850	1.0101	3.4483	2.7401
安徽	1.0526	1.0417	1.0101	3.4483	2.7401
福建	1.0753	0.8850	1.0101	3.4483	2.7401
江西	1.3333	0.9709	1.1494	3.4483	2.7401
湖北	1.3333	0.9709	1.1494	3.4483	2.7401
湖南	1.3333	0.8264	1.1494	3.4483	2.7401
广东	1.3333	0.9709	1.1494	3.4483	2.7401
广西	1.3333	1.0309	1.1494	3.4483	2.7401
海南	1.3333	0.9709	1.1494	3.4483	2.7401
四川	1.1628	0.8547	0.9524	3.4483	2.7401
贵州	1.2658	0.8333	1.2658	3.4483	2.7401
云南	1.5385	1.2500	1.1905	3.4483	2.7401
陕西	1.4085	0.9804	1.4286	3.4483	2.7401
甘肃	1.3514	1.3514	1.2821	2.18	1.4925
青海	1.3514	1.3514	1.2821	2.18	1.4925
宁夏	1.3514	1.3514	1.2821	2.18	1.4925
新疆	1.3514	1.3514	1.2821	2.18	1.4925
全国	1.2802	0.9515	1.2472	3.1361	2.2122

1.2.2 秸秆的产量与分布

我国是一个农业大国，地域辽阔，土地总面积居世界第三位。但人均土地面积仅有 11.65 亩^①，相当于世界平均数的 1/3，人均耕地 1.59 亩，只相当于世界平均水平的 44%。人口多、人均土地占有量和人均耕地占有量少、耕地后备资源不足，

① 1 亩=1/15 公顷。

是我国土地资源的基本国情。我国土地的基本国情见表 1-6。

表 1-6 我国土地的基本国情		
类 型	面积/千公顷	占全国土地面积比例/%
耕地	130040	13.54
森林	158940	16.56
内陆水域面积	17470	1.82
草地	400000	41.67
可利用草地	313330	32.64
其他	253550	26.41

我国农作物种植生态区多样而复杂，东西海拔差距悬殊，南北温差大，季节及气候早晚差异大。南方地区水域多、气温高，适合水稻、甘蔗和油料等农作物的生长；北方地区四季温差大，适合玉米、豆类和薯类等农作物的生长；小麦可在我国各地区普遍种植，但播种面积以华中、华东地区最多；棉花产地近年来逐步集中在新疆和西北地区。我国农作物总播种面积见表 1-7，我国各种农作物产量见表 1-8，我国主要农作物秸秆产量见表 1-9。

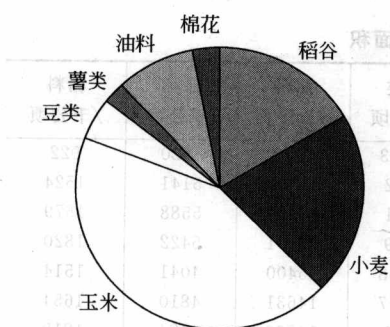
表 1-7 我国农作物总播种面积								
年 份	稻谷 /千公顷	小麦 /千公顷	玉米 /千公顷	豆类 /千公顷	薯类 /千公顷	油料 /千公顷	棉花 /千公顷	糖料 /千公顷
1980	33879	29228	20353	—	10153	7928	4920	922
1985	32070	29218	17694	—	8572	11800	5141	1524
1990	33064	30753	21401	—	9121	10900	5588	1679
1995	30744	28860	22776	11232	9519	13101	5422	1820
2000	29962	26653	23056	11190	10538	15400	4041	1514
2001	28812	24664	24282	12660	10217	14631	4810	1654
2002	28202	23908	24634	12543	9881	14766	4184	1818
2003	26508	21997	24068	12898	9702	14990	5111	1657
2004	28379	21626	25446	12799	9457	14431	5693	1568
2005	28847	22793	26358	12901	9503	14318	5062	1564
2006	29295	22961	26971	12434	9929	13736	5409	1782

表 1-8 我国各种农作物产量								
年 份	稻谷/万吨	小麦/万吨	玉米/万吨	豆类/万吨	薯类/万吨	油料/万吨	棉花/万吨	甘蔗/万吨
1980	13991.0	5521.0	6260.0	—	2873.0	769.1	270.7	2280.7
1985	16857.0	8581.0	6383.0	—	2604.0	1578.4	414.7	5154.9
1990	18933.0	9823.0	9682.0	—	2743.0	1613.2	450.8	5762.0
1995	18522.6	10220.7	11198.6	1787.5	3262.6	2250.3	476.8	6541.7
2000	18790.8	9963.6	10600.0	2010.0	3685.2	2954.8	441.7	6828.0
2001	17758.0	9387.3	11408.8	2052.8	3563.1	2864.9	532.4	7566.3
2002	17453.9	9029.0	12130.8	2241.2	3665.9	2897.2	491.6	9010.7
2003	16065.6	8648.8	11583.0	2127.5	3513.3	2811.0	486.0	9023.5
2004	17908.8	9195.2	13028.7	2232.1	3557.7	3065.9	632.4	8984.9
2005	18058.8	9744.5	13936.5	2157.7	3468.5	3077.1	571.4	8663.8
2006	18257.2	10446.7	14548.2	2104.5	3406.1	3059.4	674.6	9978.4

表 1-9 2006 年我国主要农作物秸秆产量

农作物	产量/万吨	草谷比	秸秆量/万吨	折标煤系数	折标煤量/万吨
稻谷	18257.2	0.623	11374.2	0.429	4879.5
小麦	10446.7	1.366	14270.2	0.500	7135.1
玉米	14548.2	2.000	29096.4	0.529	15392.0
豆类	2104.5	1.500	3156.8	0.543	1714.1
薯类	3406.1	0.500	1703.1	0.486	827.7
油料	3059.4	2.000	6118.8	0.529	3236.8
棉花	674.6	3.000	2023.8	0.543	1098.9
合计	52496.7		67743.2		34284.2

我国是一个农业大国，2006 年主要农产品产量为 5.25 亿吨，按草谷比计算秸秆产量约为 6.77 亿吨。其中，我国农作物秸秆主要集中在分布在河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、河南、山东、湖北、湖南、江西、安徽、四川、云南等粮食主产区。



通过分析，我们可以得出以下结论。

① 中国的主要农作物秸秆为玉米、小麦和稻谷，分别占 2006 年农作秸秆总资源量的 42.95%、21.07%和 16.79%（图 1-1）。

② 如果依据秸秆资源量的不同而对省份进行分类（表 1-10），可以发现中国秸秆资源量最高的地区为山东和河南，年产秸秆均超过 5000 万吨；其次为河北和四川，年产量超过 3000 万吨；吉林、黑龙江、江苏、安徽、湖北和湖南等地区农作物秸秆年产量均超过 2100 万吨。

图 1-1 2006 年中国不同农作物秸秆资源量分布图

表 1-10 按秸秆资源量进行分类

秸秆资源量/(万吨/年)	省 份
40~1090	北京、天津、上海、浙江、福建、海南、西藏、甘肃、青海、宁夏
1090~2140	山西、内蒙古、辽宁、江西、广东、广西、重庆、贵州、云南、陕西、新疆
2140~3190	吉林、黑龙江、江苏、安徽、湖北、湖南
3190~4240	河北、四川
4240~5300	山东、河南