

中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价

崔明, 赵立欣, 田宜水^{*}, 孟海波, 孙丽英, 张艳丽, 王飞, 李冰峰

(农业部规划设计研究院, 北京 100125)

摘要: 该文应用不同的秸秆资源评价指标, 通过文献分析和实地调查, 对中国主要农作物秸秆资源进行了调查与评价。结果表明, 2006年全国5种主要农作物秸秆的理论资源量为4.33亿t。其中, 可能源化利用资源量约1.76亿t, 呈“两高两低”的分布特点, 即人均资源量“北高南低”、单位播种面积资源量“东高西低”。依据各区的秸秆资源分布特点, 可将全国划分为重点开发利用区(东北区、蒙新区和华北区)、适度开发利用区(西南区、长江中下游区和华南区)、限制开发利用区(黄土高原区和青藏区), 建议对各区采取不同的开发利用措施。

关键词: 农作物, 秸秆, 能源化利用, 生物质能, 资源评价

中图分类号: TK6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0291-06

崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 291-296.

Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 291-296.(in Chinese with English abstract)

0 引言

$$P = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot P_i \quad (1)$$

农作物秸秆是生物质能资源的主要来源之一。中国是一个农业大国, 具有丰富的秸秆资源。但由于秸秆资源分布比较分散、统计起来比较困难, 目前对其分析多数是建立在统计资料基础上, 缺乏系统的研究^[1-5]。此外, 由于没有统一的评价指标, 不同的秸秆资源评价工作缺乏可比性。由于秸秆资源总量、品种和分布不清, 利用现状不明, 影响了国家政策的出台。本文拟通过深入系统的研究, 建立秸秆资源评价指标体系, 对秸秆进行全面、科学的评价, 以获得中国主要农作物秸秆资源总量、种类、分布及利用状况等, 为国家制定政策提供参考。

1 秸秆资源评价指标体系

本文综合了国内外相关研究结果^[6,7], 建立了秸秆资源评价指标体系, 主要包括资源量、人均秸秆占有量、资源密度等评价指标。

1.1 秸秆资源量

1.1.1 理论资源量

理论资源量是指某一区域秸秆的年总产量, 表明理论上该地区每年最大可能生产的秸秆资源量。一般根据农作物产量和草谷比, 来大致估算, 即:

式中 P ——某一地区秸秆的理论资源量, 万 t; P_i ——某一地区某种农作物的年产量, 万 t; i ——农作物的编号, $i=1, 2, \dots, n$; λ_i ——某一地区第 i 种农作物秸秆的草谷比, 需注明含水量。

1.1.2 可收集资源量

在农作物收获过程中, 许多农产品需要留茬收割; 在秸秆收集以及运输过程中, 会发生枝叶脱落现象。可收集资源量是指某一区域通过现有收集方式可供实际利用的最大秸秆数量, 可通过理论资源量乘收集系数来确定。

1.1.3 可能源化利用资源量

秸秆除了能源用途外, 也可用作肥料、饲料、食用菌基料及工业原料。因此, 评价可供能源利用的资源量时, 除了扣除为保证土壤肥力秸秆还田外(或过腹还田), 还需要考虑当地秸秆资源现有的竞争性用途, 实际可能源化利用资源量为可收集资源量乘以可能源化利用系数。

1.2 人均秸秆资源占有量

人均秸秆资源占有量是指某一区域人均秸秆资源占有的数量。通常使用乡村人口总数。

1.3 秸秆资源密度

资源密度是指某一区域单位面积秸秆的资源数量。

2 研究对象、方法与过程

2.1 研究对象

中国农作物种植生态区多样而复杂, 农作物种类多, 粮食作物以稻谷、小麦、玉米、薯类、大豆等为主, 其中又以稻谷、小麦、玉米分布最广, 产量最多。因此, 本文选择稻谷、小麦和玉米等进行评价。在经济作物中,

收稿日期: 2008-07-07 修订日期: 2008-09-18

基金项目: 国家能源领导小组办公室“农作物秸秆能源化利用资源调查与评价研究项目”

作者简介: 崔明(1955—), 男, 研究员, 长期从事农业资源区划和农业经济贸易管理和技术研究工作。北京市朝阳区麦子店街41号 农业部规划设计研究院, 100125

*通讯作者: 田宜水(1972—), 男, 辽宁阜新人, 高级工程师, 主要从事节能与生物质能政策、资源和技术研究等工作。北京市朝阳区麦子店街41号 农业部规划设计研究院, 100125。Email: yishuit@yahoo.com

棉花和油菜籽的种植区域相对集中, 秸秆可规模化利用, 因此也作为评价对象。

2.2 研究方法

中国幅员辽阔, 各地区经济水平发展并不平衡, 种植制度和生活方式也各不相同, 这对秸秆的利用方式产生了很大的影响。由于时间和人员有限, 本文采取文献分析和典型地区调查相结合的方法。

2.2.1 文献分析

本文所分析的文献主要来源于: (1) 统计年鉴, 包括《中国统计年鉴》、《中国农业统计年鉴》、《中国农业机械化年鉴》、《中国饲料年鉴》和《中国造纸年鉴》等; (2) 年度报告, 包括《国民经济和社会发展统计公报》、《农业发展报告》、《中国的能源状况与政策》等; (3) 发展规划, 包括《全国农业和农村经济十五五年规划》、《全国粮食生产发展规划(2006-2020 年)》、《可再生能源中长期发展规划》、《农业生物质能产业发展规划》等; (4) 国内外公开发表的论文等。

2.2.2 实地调查

实地调查采用了座谈和入户调查等方式。其中, 选择所调查乡镇和村时, 考虑了经济(发达、较发达、不发达)、农民收入(高、中、低)、是否具有典型性等因素。

1) 座谈: 分县、乡(镇)、村三级进行。(1) 县级座谈: 参与的部门包括农技推广、土肥、畜牧和农村能源等部门, 通过了解所调查县的整体情况, 选出典型调查乡镇; (2) 镇级座谈: 了解所选乡镇的整体情况, 并在每个乡镇挑选至少 2 个具有代表性的自然村; (3) 村级座谈: 了解所选村的整体情况, 根据情况选择不少于 15 户农户进行调查。

2) 入户调查: 调查农户基本情况、农作物生产情况、秸秆利用情况、生活用能情况等。

2.3 调查过程

根据中国农业区划和不同农作物主产区和品种特点, 分别在中国东北、华北、华东、华中、西南、西北等区域选择了黑龙江省双城县和肇东县、吉林省农安县、河北省藁城县和大名县、山东省栖霞市、河南省滑县、湖南省湘阴县和双峰县、江苏省金湖县和高邮县、四川省金堂县和双流县、新疆生产建设兵团农四师、青海省门源县等 15 个县进行调研, 在 2007 年 6 月—11 月期间, 总计调查了 264 个乡镇和 107 个村, 回收有效调查问卷 2061 份。

3 结果与讨论

3.1 草谷比的测定

由于各地区的土壤、气候以及耕作制度的不同, 不同地区同一作物草谷比可能不相同; 同一作物的不同品种, 以及不同种植类型, 其草谷比也不相同; 同一地区同种作物, 其丰、平、歉年的草谷比也有差异。为了准确评估某地区秸秆资源量, 并指导全国秸秆资源评价, 笔者分别对河南省、湖南省、新疆生产建设兵团、青海省和吉林省典型调研点的稻谷、小麦、玉米、棉花和油

菜的草谷比进行了测定。

通过分析不同文献和研究的草谷比(参见表 1), 发现其中差异非常大。原因在于测试的条件不同。例如, 文献[2]包括作物的地下部分, 草谷比相对偏高; 秸秆含水量和籽粒含水量不同也是影响因素之一, 由于除文献[1]和文献[5]外, 其他文献都没有标明数据来源以及测试条件。此外, 随着作物新品种的定向选育和栽培措施的不断改善, 作物收获指数不断提高, 草谷比则呈下降趋势^[8]。例如, 稻谷品种由高秆到矮秆, 收获指数由 0.30~0.35 提高到 0.5 以上^[9]; 通过对小麦籽粒产量和矮秆性状的长期选择, 收获指数已由地方品种的 0.3 左右提高到现在的 0.45 左右^[10]。本文的测试结果与 2005 年“秸秆直接燃烧供热发电项目资源可供调研和相关问题的研究”结果类似, 也印证了这一点。

表 1 不同参考文献秸秆的草谷比

序号	数据来源	小麦	玉米	稻谷	油菜	棉花	备注
1	《农业技术经济手册(修订本)》, 1993 年 ^[11]	1.1	1.2	0.9	1.5	3.4	秸秆按晾晒干重计, 含水量一般在 6%~15%
2	中国作物的收获指数, 1990 年 ^[12]	1.77	1.269	1.323	2.985	1.613	包括地下部分重量
3	中国生物质资源可获得性评价, 1998 年 ^[13]	1.366	2.0	0.623	2.0 (油料)	3.0	未注明含水量
4	秸秆合理利用途径研究报告, 1999 年	1.28	0.95	1.24	2.11	3.13	未注明含水量, 按全国按省市加权平均值计
5	秸秆直接燃烧供热发电项目资源可供调研和相关问题的研究, 2005 年 ^[14]	0.73	0.90	0.78	1.29	3.53	风干后实测
6	本研究, 2007 年	0.73	1.25	0.68	1.01	5.51	实测, 含水量按 15% 计

3.2 秸秆理论资源量

依据保守性原则, 本文将采用所测草谷比数据对全国秸秆理论资源量进行估算。2006 年, 全国小麦、玉米、稻谷、油菜和棉花等主要农作物秸秆的理论资源量为 4.33 亿 t。其中, 麦秸为 7600 万 t, 玉米秸为 1.82 亿 t, 稻草为 1.25 亿 t, 油菜秸为 1300 万 t, 棉秆为 3700 万 t。

3.3 秸秆资源区域分布

中国幅员辽阔, 跨越多个气候带, 气候、地形、土壤、作物品种十分复杂, 人多地少又是中国的基本国情, 决定了耕作制度的集约性与复杂性, 导致了各地区秸秆的种类复杂和产量多寡。各地区经济发展水平并不平衡, 秸秆的利用方式也不相同。考虑到秸秆的数量、类型及其分布与作物产量、种类及其分布基本一致。本文依据中国耕作制度区划^[15]和各地经济发展水平的不同, 并保持省界完整性, 将全国分为八大区域(不含香港、澳门和台湾), 见表 2。

在八大区域中, 华北区、长江中下游区的秸秆资源最为丰富, 其理论资源量分别为 1.21 亿 t 和 1.07 亿 t, 占

总量的 28%和 25%；其次为东北区、西南区和蒙新区分别为 7000 万 t、4600 万 t 和 3800 万 t，占总量的 16%、11%和 9%；黄土高原区和华南区的秸秆理论资源量分别为 2600 万 t 和 2400 万 t，占总量的 6%和 5%；青藏区最少，仅 83 万 t。

表 2 中国秸秆资源区划
Table 2 Division of crop straw resource in China

分 区	区域范围
东北区	黑龙江、吉林、辽宁
华北区	北京、天津、河北、河南、山东
黄土高原区	山西、陕西、甘肃
长江中下游区	上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南
华南区	福建、广东、广西、海南
西南区	重庆、四川、贵州、云南
蒙新区	内蒙古、宁夏、新疆
青藏区	青海、西藏

3.4 秸秆可收集资源量

2006 年，全国耕种收综合机械化水平达到 39.3%，小麦机收水平达到 76%，稻谷机收水平达到 34%；玉米、大豆、棉花、甘蔗、油菜、马铃薯等作物及牧草生产机械化取得了新进展^[16]。笔者在中国农作物主产区对机械收获和人工收获的留茬高度进行了调查，结合秸秆还田等研究文献所提供的秸秆残留量等相关信息，推算秸秆的收集系数，具体见表 3。

表 3 主要农作物秸秆的收集系数
Table 3 Collection coefficient of main crop straws

作物 品种	面积 /km ²	机械收获		人工收获		损失 系数	收集 系数
		比例 /%	收割 系数	比例 /%	收割 系数		
稻谷	9663.18	33.50	0.66	66.50	0.90	0.05	0.78
小麦	17353.08	76.13	0.77	23.87	0.90	0.05	0.76
玉米	821.79	3.12	1.00	96.88	1.00	0.05	0.95
棉花	5062	—	—	100.00	0.94	0.05	0.89
油菜	362.89	4.99	0.85	95.01	0.95	0.05	0.90

资料来源：全国农业机械化信息网。

2006 年全国主要秸秆可收集资源总量为 3.72 亿 t。其中，稻谷秸秆为 9700 万 t，占 26%；小麦秸秆为 5800 万 t，占 16%；玉米秸秆为 1.72 亿 t，占 46%；棉花秸秆为 3300 万 t，占 9%；油菜秸秆为 1100 万 t，占 3%。区域分布上，华北区秸秆资源可收集量最多，达 1.0 亿 t，占 28%；长江中下游区为 8700 万 t，占 23%，位居第二；东北区为 6300 万 t，占 17%；西南区为 4000 万 t，占 11%；蒙新区为 3400 万 t，占 9%；黄土高原区为 2300 万 t，占 6%；华南区 1900 万 t，占 5%，青藏区最少，可收集产量为 68 万 t，仅占 0.2%。

3.5 秸秆资源利用现状

中国秸秆的利用方式很多，主要分为能源化利用、直接还田、饲料化利用、作为工业原料以及食用菌基料等。各地经济发展水平、产业结构不同，其利用方式也不相同。结合实地调查和文献分析，经测算，在主要农作物秸秆中，2006 年用于农村居民生活用能的资源量约

1.08 亿 t，占理论资源量的 25%；直接还田约 1.30 亿 t（含未收集部分），占理论资源量的 30%；用作牲畜饲料约 0.79 亿 t，占理论资源量的 18%；用作造纸原料和养菇分别为 0.20 亿 t 和 0.10 亿 t，分别占理论资源量的 4.6%和 2.3%；焚烧及废弃约 0.86 亿 t，占理论资源量的 20%。

3.5.1 秸秆能源化利用

秸秆能源化利用的主要方式有直接燃烧（包括通过省柴灶、节能炕、节能炉燃烧及直燃发电）、固体成型燃料技术、气化（包括生物质燃气、沼气）和液化（包括燃料乙醇和生物柴油）等。到 2007 年底，全国已累计推广省柴节煤炉灶 1.5 亿户，节能炉 3470 万户，节能炕 2000 万铺，普及率达到 70%以上，热效率提高了 10 个百分点，节约了大量的生物质资源，有效缓解了农村能源的紧张局面。秸秆优质能源化利用也取得初步成果，建成秸秆集中供气站 734 处，秸秆沼气 5 万余户，秸秆固体成型燃料示范点 54 处^[17]。截至 2007 年 11 月，由各级发改委核准秸秆发电项目 81 处，建成并投产达 17 处，总装机容量达 40 万 kW。

3.5.2 秸秆直接还田

秸秆直接还田主要有机械粉碎翻压还田和覆盖还田二种方式。2005 年全国秸秆机械化还田总面积为 1934 万 hm²，占当年播种面积的 12.9%；免耕覆盖还田面积 271 万 hm²，占当年播种面积 1.8%^[18]。

3.5.3 秸秆作为饲料养畜

目前，全国秸秆养畜示范县已发展到 30 个省区市的 485 个县，其中秸秆养牛示范县 323 个，秸秆养羊示范县 162 个，青贮、氨化秸秆数量以及饲用秸秆量逐年上升。2004 年全国青贮秸秆 1.7 亿 t（鲜质量），氨化（含微贮）秸秆 5100 万 t，两项折算节约饲料量 3800 万 t^[19]。

3.5.4 秸秆作为工业原料

秸秆纤维作为一种天然纤维素纤维，生物降解性好，可以作为工业原料。其中，最主要作为纸浆原料。造纸用麦草占麦草总量的 30%以上，主要集中在麦草主产区的河南、山东、河北等省。据中国造纸协会对综合信息资料调查，2006 年全国纸及纸板生产量 6500 万 t，全国纸浆消耗总量 5992 万 t。其中，禾草浆消耗量约 830 万 t，比上年有所增加，但所占纸浆消耗总量的比例呈下降趋势^[20]。

3.5.5 秸秆作为食用菌基料

秸秆中含有丰富的碳、氮、矿物质及激素等营养成分，且资源丰富、成本低廉，因此很适合做多种食用菌的培养料。据中国食用菌协会对全国 25 个省市区统计，2005 年食用菌总产量 1334 万 t。其中，产量超过 100 万 t 有四个省：河南 201 万 t、福建 178 万 t、山东 132 万 t、江苏 100 万 t。如果按照基料和食用菌 1：1 的比例进行推算，秸秆使用量将不超过 1000 万 t。

3.6 可能源化利用秸秆资源量

适当数量的秸秆还田可以增加土壤有机质含量，改善土壤结构。但是，由于中国人均占有耕地少，复种指数高，倒茬间隔时间短，加之秸秆碳氮比高，不易腐烂。所以秸秆还田常因翻压量过大，土壤水分不适，施氮肥

不够,翻压质量不好等原因,出现妨碍耕作,影响出苗,烧苗,病虫害增加等现象,有的甚至造成减产。因此,秸秆还田并非多多益善,需要根据实际情况,尤其是土壤肥力状况,量田定还。

为保证粮食稳产增产,保障耕地土壤肥力,本文所列 8 大区域均应保证适宜数量的秸秆还田,至少每年还田一季秸秆,东北区、青藏区秸秆还田适宜数量为 2.25 t/hm^2 ,其余 6 个区域秸秆还田数量均为 3 t/hm^2 。据此可以推测,各区域秸秆还田需求量情况分别为:东北区需要还田 2174 万 t,华北区 3231 万 t,黄土高原区 1710 万 t,长江中下游区 2175 万 t,西南区 691 万 t,华南区 575 万 t,蒙新区 2115 万 t,青藏区 73.04 万 t,总计秸秆需求量为 1.27 亿 t。

通过对上述秸秆还田、秸秆作饲料用途和造纸等工业用途的分析,可推算出各地区秸秆的可能源化利用系数,从而测算全国八大区可能源化秸秆资源量为 1.76 亿 t。从区域分布来讲,华北区和长江中下游区秸秆可能源化利用资源量最为丰富,占全国总量的二分之一以上,秸秆可能源化利用资源量分别为 5500 万 t 和 4500 万 t,分别约占全国总量的 31% 和 26%;其次为东北区和西南区,分别为 2700 万 t 和 2400 万 t,占总量的 15% 和 14%;华南区、蒙新区和黄土高原区可能源化利用资源量较少,分别占总量的 7%、7% 和 0.4%,青藏区最少,见表 6。

3.7 人均秸秆资源占有量

全国人均秸秆资源(主要农作物可能源化利用资源量,下同)占有量为 246 kg。其中,最高的是东北区,为 555 kg/人;其次为蒙新区和华北区,分别为 441 kg/人和 341 kg/人;长江中下游区、西南区和华南区均低于全国平均水平,分别为 231 kg/人、189 kg/人和 130 kg/人;黄土高原区和青藏区最低,分别为 13 kg/人和 0 kg/人。

从省区层面来看,吉林省最高,为 860 kg/人;高于全国平均水平 50% 的省区还有黑龙江、辽宁、内蒙古、山东、新疆;高于全国平均水平 25%~50% 的省区有天津;其他高于全国平均水平的省区有河北、江苏、河南、湖北、重庆(如图 1)。

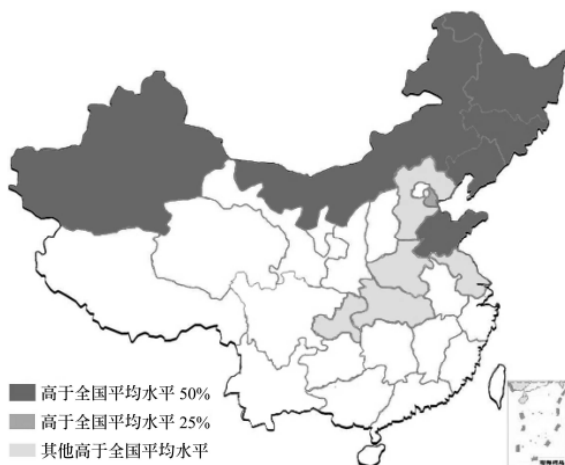


图 1 全国人均秸秆资源占有量分布图

Fig.1 Per capita amount of crop straw resource in China

3.8 单位播种面积可能源化利用秸秆资源量

虽然区域面积可以选取国土面积、耕地面积和播种面积,但从收集的角度考虑,播种面积更具实际意义,因此本研究重点讨论单位播种面积的可能源化利用资源量。2006 年中国单位播种面积可能源化利用资源量平均为 1.92 t/hm^2 。其中,最高的是东北区,为 2.51 t/hm^2 ;其次为华北区、西南区和蒙新区,分别为 2.40 t/hm^2 、 2.21 t/hm^2 和 1.95 t/hm^2 ;黄土高原区和青藏区最低,分别为 0.12 t/hm^2 和 0 t/hm^2 ,如表 4。

表 4 2006 年中国分区域主要农作物秸秆可能源化利用评价
Table 4 Regional evaluation on energy use of crop straw in China, 2006

地 区	可能源化利用资源量		
	实物量 /万 t	单位播种面积资源量 /t · hm ⁻²	人均秸秆占有量 /kg · 人 ⁻¹
东北区	2670	2.51	555
华北区	5496	2.40	341
黄土高原区	76	0.12	13
长江中下游区	4544	1.70	232
华南区	1144	1.78	130
西南区	2404	1.95	189
蒙新区	1257	2.21	441
青藏区	—	—	—
全 国	17590	1.92	246

从省区层面来看,高于全国平均水平 50% 的省区有辽宁和吉林,分别为 2.75 、 2.90 t/hm^2 ;高于全国平均水平 25% 的省区有北京、天津、山东、重庆,分别为 2.61 、 2.58 、 2.56 、 2.38 t/hm^2 ;其他高于全国平均水平的省区有河北、黑龙江、河南、四川、贵州、云南和新疆(如图 2)。

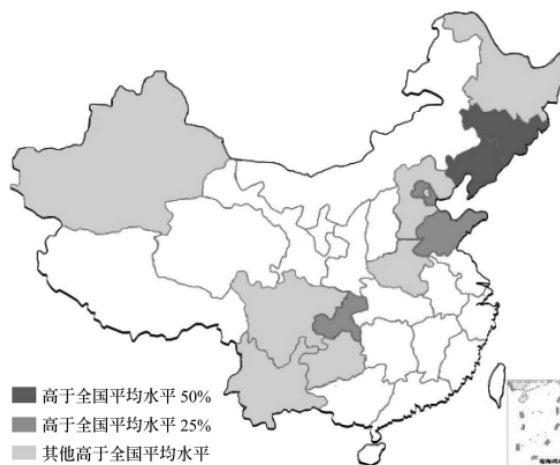


图 2 全国秸秆单位播种面积可能源化利用资源量分布图

Fig.2 Per planting area amount of crop straw resource on energy use in China

4 秸秆资源综合评价

根据上述研究结果,本文按照人均秸秆资源占有量和单位播种面积可能源化利用资源量分区进行分析。对人均秸秆资源占有量按照高于全国平均水平,介于全国平均水平之间,以及低于全国平均水平,可将各区分为

资源丰富区、资源一般区和资源贫乏区；对单位播种面积秸秆可能源化利用资源量，按照高于全国平均水平，介于全国平均水平之间，以及低于全国平均水平，将各区分分为秸秆分布集中区、秸秆分布一般区和秸秆分布分散区，见表 5。

表 5 全国秸秆资源综合评价表

Table 5 Comprehensive evaluation of crop straw resource in China

秸秆资源丰富区		秸秆资源一般区	秸秆资源贫乏区
秸秆分布集中区	东北区		
秸秆分布一般区	蒙新区、华北区	西南区、长江中下游区	华南区
秸秆分布分散区	黄土高原区、青藏区		

中国主要农作物可能源化利用资源区域总体上呈“两高两低”的分布特点，具体表现为人均秸秆资源量“北高南低”、单位播种面积秸秆资源量“东高西低”。依据各区域秸秆分布特点，可将全国秸秆能源化开发利用分成三个区域：

1) 重点开发利用区：包括东北区、蒙新区和华北区。东北区具有丰富的秸秆资源，且集中度较高。秸秆资源除保证农村居民生活用能外，还有剩余可为城镇居民和工业用户提供能源，可集中开发利用。蒙新区和华北区，具有较丰富的秸秆资源，但集中度一般。秸秆资源除保证农村居民生活用能外，还有剩余可为城镇居民和工业用户提供能源，适宜分散开发利用。

2) 适度开发利用区：包括西南区、长江中下游区和华南区，秸秆资源和集中度均一般。可适度推广秸秆固体成型、生物气化等分散式利用技术，提供优质、清洁的商品能源。

3) 限制开发利用区：包括黄土高原区和青藏区，秸秆资源较为贫乏，除汾渭谷地、甘肃的河西走廊等地资源相对丰富外，大部分地区资源集中度低。本区属于中国中西部地区，经济发展水平不高，农户人均收入较低，农民生活用能多依靠传统的秸秆、薪柴等生物质能，或煤炭等化石能源，能效低，且污染环境。开发利用推广的重点是高效炉灶等低成本利用方式，以满足农户生活用能需求为主要目的，改善农户生活用能结构，提高能源效率，减少秸秆、薪柴的消耗量，保护生态环境。

致谢：参加本项目调研工作的还有袁艳文、王爱华、李想、高新星、上官慧、麦霞、高建民、李伟、王晓丽、曾贞、刘佳、邹波、乔木、苗功忱、牟倩等人，在此一并表示感谢。

[参 考 文 献]

- [1] 钟华平, 岳燕珍, 樊江文. 中国作物秸秆资源及其利用[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 62—67.
- [2] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报, 2001, 21(3): 242—247.
- [3] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87—91.
- [4] Liu H, Jiang G M, Zhuang H Y, et al. Distribution, utilization structure and potential of biomass resources in rural China: With special references of crop residues[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 12: 1402—1418.
- [5] 汪海波, 章瑞春. 中国农作物秸秆资源分布特点与开发策略[J]. 山东省农业干部管理学院学报, 2007, 23(2): 164—165.
- [6] 顾树华, 周沛萍. 可再生能源资源评价体系与方法[J]. 中国人口·资源与环境, 1999, 9(2): 46—50.
- [7] 李京京, 任东明, 庄 幸. 可再生能源资源系统评价方法及实例[J]. 自然资源学报, 2001, (7): 77—84.
- [8] 伏 军. 水稻收获指数的形成与遗传改良[J]. 作物研究, 1997 年, (2): 486—492.
- [9] 余泽高, 方燕妮. 小麦经济系数与其它若干性状关系的研究[J]. 湖北农学院学报, 2002 年, 22(6): 1—3.
- [10] 《农业技术经济手册》编委会. 农业技术经济手册(修订本)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993.
- [11] 张福春, 朱志辉. 中国作物的收获指数[J]. 中国农业科学, 1990 年, 23(2): 83—87.
- [12] 潘晓华, 邓强辉. 作物收获指数的研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(1): 5-9.
- [13] 中国农业部, 美国能源部项目专家组. 中国生物质资源可获得性评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [14] 贾小黎, 成李柱. 秸秆直接燃烧供热发电项目资源可供性调研和相关问题的研究_1[J]. 太阳能, 2006, (2): 8—15.
- [15] 刘巽浩. 中国耕作制度区划[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1987.
- [16] 全国农业机械化发展第十一个五年规划[R]. 北京: 农业部, 2006.
- [17] 农业部科技教育司. 2007 年度全国农村可再生能源统计汇总表[R]. 2008.
- [18] 易中懿. 中国农业机械化年鉴. 2007 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- [19] 张仲秋, 谢洪钧. 中国饲料工业年鉴 2005[M]. 北京: 中国商业出版社, 2006.
- [20] 黄润斌. 中国造纸年鉴 2006[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
- [21] 王 宁, 闫洪奎, 王 君, 等. 不同量秸秆还田对玉米生长发育及产量影响的研究[J]. 玉米科学, 2007, (5): 106—109.

Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China

Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui^{*}, Meng Haibo, Sun Liying, Zhang Yanli, Wang Fei, Li Binfeng

(Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China)

Abstract: According to document analysis and field survey, various evaluating indices of crop straw resource were used to finish the research and evaluation on main crop straw in China. The results showed that the theoretical resource amount of the 5 main crop straws was 433 million tons in China, including 176 million tons for the energy utilization. The resource could be distributed as 'two-high and two-low' that per capita amount of the resource was 'high in north and low in south' and per planting area of the resource was 'high in east and low in west'. According to the resource distributing characteristics in each region. The whole country was divided into main developing area (Northeast, Meng-Xin and North region), proper developing area (Southwest, middle-lower Yangtze River and South region) and limited developing area (Loess Plateau and Qinghai-Tibet region). Different developing measures should be used in each region.

Key words: crops, straw, energy utilization, biomass energy, resource evaluation