

中国秸秆资源数量估算

毕于运¹, 高春雨¹, 王亚静¹, 李宝玉²

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘 要: 中国秸秆资源估算存在着统计不完全、草谷比取值不当等问题。该文采用草谷比法, 选取经过订正的秸秆草谷比, 对中国秸秆资源进行了全面系统的估算。估算结果表明: 随着农业综合生产能力的提高, 中国秸秆总产量总体上呈不断增长之势; 目前中国是世界第一秸秆大国, 2005 年全国秸秆总产量达到 84 183.12 万 t; 稻草、玉米秸、麦秸依然是中国的主要作物秸秆类型; 稻壳、玉米芯、蔗渣、甜菜渣等农产品初级加工副产品具有可观的新能源开发前景。

关键词: 秸秆, 估算, 中国, 资源, 数量, 草谷比

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.037

中图分类号: S816.53

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0211-07

毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211—217.

Bi Yuyun, Gao Chunyu, Wang Yajing, et al. Estimation of straw resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 211—217. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

秸秆资源是指在现实社会、经济、技术条件下, 可供人类利用的秸秆总产量, 它是中国种植业和养殖业可持续发展以及农村新型能源化的重要物质基础。2008 年 7 月国务院下发了《关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》。这对于加快推进秸秆综合利用, 实现秸秆的资源化、商品化, 促进资源节约、环境保护和农民增收具有重要作用。秸秆资源数量估算是秸秆资源综合利用的基础。学者们运用不同方法对其进行了大量的研究, 但从以往的研究看, 计算结果存在很大差异, 有人认定是 6 亿 t 以上, 有人认定是 7 亿 t 以上^[1-2]。本文试图找到秸秆资源估算中存在的主要问题, 确定合理估算方法, 对中国秸秆的总量进行全面、系统、准确的估算。

1 中国秸秆估算存在的主要问题

1.1 统计不完全使中国秸秆总产量估算结果显著偏低

用主要农作物秸秆产量直接代替秸秆总产量是中国秸秆资源数量估算中存在的较为普遍的现象。例如农业部《农业生物质能产业发展规划(2007~2015 年)》^[3]依据 2005 年全国主要农作物产量, 按草谷比计算出秸秆产量约 6 亿 t。

国家发展改革委基础产业发展司《中国新能源与可再生能源 1999 白皮书》^[4]和曹国良等^[5]所计算的中国不同年份主要农作物秸秆产量皆在 6 亿 t 左右, 分别忽略了蔗渣、甜菜渣、烟秆、蔬菜和其他农作物的副产品, 前者还忽略了麻类秸秆和甜菜茎叶。虽然上述报告和文献都明确说明或列表明示 6 亿 t 左右的秸秆仅仅是中国粮、

棉、油等主要农作物的秸秆产量, 但经过人们的多次引用和重复引用, 逐渐地被不少人认定为此数值就是中国现实的秸秆总产量。

本文计算结果表明, 目前中国蔬菜藤蔓及其残余物产量已经高达 7 600 多万 t, 加上麻类秸秆、蔗渣、甜菜渣、甜菜茎叶、烟秆和其他农作物的副产品, 可达到近 1.5 亿 t。由此不难看出, 中国“次要”农作物的秸秆产量是不可忽略不计的。

其次, 对农产品加工剩余的副产品统计重视不够也大大降低了中国秸秆总产量。本文计算结果还表明, 2005 年中国稻壳产量和玉米芯产量已分别高达 4 875.98 万 t 和 3 484.13 万 t, 仅略低于棉秆产量。尤其是稻壳产量比全国油料秸秆总产量还要高 10% 以上。但不少人在计算中国秸秆总产量时, 忽略了这两种农作物副产品, 使中国秸秆总产量估算结果比其实有数量偏低。

1.2 草谷比取值不当导致中国秸秆产量估算结果严重失实

水稻、小麦、玉米是中国各类农作物中种植面积最大、产量最高的 3 大农作物。但这 3 大粮食作物的草谷比, 在不同的文献中也很难统一, 而且相差悬殊。从表 1 所列 4 组草谷比来看, 在不同的文献中, 水稻草谷比最高取值与最低取值相差 47.7 个百分点, 小麦相差 36.6 个百分点, 玉米相差 80.0 个百分点, 这使不同研究对中国秸秆资源的估算结果存在显著差异。

表 1 不同文献中主要农作物草谷比取值比较
Table 1 Comparison of the ratio of main-products yield to that of by-products of main crops in different literature

资料来源	牛若峰、刘天福主编《农业技术经济手册(修订本)》 ^[6]	中国农村能源行业协会	李京京等《可再生资源资源的系统评价方法及实例》 ^[7]	钟华平等《中国作物秸秆资源及其利用》 ^[8]
水稻	0.9	0.623	1	1.1
小麦	1.1	1.366	1	1.1
玉米	1.2	2.000	2	2.0

收稿日期: 2009-04-08 修订日期: 2009-06-21

基金项目: 中央公益性科研院所专项基金资助(2008-15)

作者简介: 毕于运(1968—), 男, 江苏徐州人, 研究员, 研究方向为农村能源。北京 中国农科院农业资源与农业区划所, 100081。

Email: biyuyun@sina.com

1.2.1 对水稻草谷比取值偏低可使中国稻草产量少计算数千万吨

原国家发展改革委基础产业发展司编《中国新能源与可再生能源 1999 白皮书》^[4]和曹国良等^[5]在计算中国秸秆总产量时,皆采用了中国农村能源行业协会的草谷比。而中国农村能源行业协会所给定的水稻草谷比仅为 0.623,明显低于中国实际的水稻草谷比。

与其他农作物相比,水稻草谷比有较大的不稳定性。影响水稻草谷比的因素除了水稻产量,水稻熟制也是一个重要的因素。温怀南^[9]研究结果表明连作晚稻和单季晚稻草谷比平均取值在 1.15 左右,连作早稻草谷比平均取值为 0.65 左右。而中国农村能源行业协会的草谷比仅能反映早稻的生产情况。而目前早稻的种植面积只是水稻总播种面积的 1/5,在不区分早、中、晚稻的情况下,把水稻草谷比取值为 0.9~1.0 较为客观。

牛若峰、刘天福主编《农业技术经济手册(修订本)》^[6]收录的水稻主副产品之比为 1:0.9,即草谷比为 0.9;李京京等^[7]在计算全国秸秆总产量时选定的水稻草谷比为 1;钟华平等^[8]在计算全国秸秆总产量时采用的水稻草谷比为 1.1;《中国农业百科全书》^[10]给出的水稻收获指数为 0.4~0.5,按其计算出的水稻草谷比为 1.25~1.0;中国农村能源综合区划协作组,在 1983 年编写的农村能源调查大纲中,提出的水稻草谷比为 1,也即草谷比为 1。总之,大多数秸秆资源研究和秸秆产量计算,把水稻草谷比取值为 1 左右。

2005 年,中国稻谷总产量为 18 059.2 万 t,按照中国农村能源行业协会的水稻草谷比 0.623 计算,该年度中国稻草总产量为 11 250.88 万 t,仅此就使全国稻草总产量少计算 6 800 多万 t(与水稻草谷比取值为 1 相比较)。

1.2.2 对玉米草谷比取值偏高可使中国玉米秸秆产量多计算上亿吨

在众多秸秆资源应用研究文献中,对玉米草谷比取值偏高的问题更为严重。文献检索结果表明,目前在中国玉米秸秆产量计算中常用的玉米草谷比有 3 个:一是以牛若峰、刘天福主编《农业技术经济手册(修订本)》^[6]为代表的玉米主副产品之比,取值为 1:1.2,即草谷比为 1.2。二是以中国农村能源综合区划协作组为代表,在其 1983 年编写的农村能源调查大纲中,提出的玉米草谷比为 0.5,即草谷比为 2。后来,中国农村能源行业协会也把玉米草谷比定为 2。曹国良等、钟华平等、李京京等,以及《中国新能源与可再生能源 1999 白皮书》等^[4-5,7-8],在计算全国秸秆总产量时,皆把玉米草谷比选定为 2。三是以《山东省发展农作物秸秆综合利用技术推广应用综合研究》^[11]为代表的玉米草谷比,取值为 1.38。

大量玉米种植试验^[12-17]表明,在不同品种和不同生长条件下,玉米的草谷比存在较大差别。在玉米正常生长情况下,其草谷比一般在 1~1.3 左右变化,平均值约为 1.2 左右。

通过上述分析可见,牛若峰、刘天福主编《农业技术经济手册(修订本)》^[6]收录的玉米草谷比(取值为 1.2)最为接近实际。

2005 年,中国玉米年总产量约为 13937 万 t,把玉米草谷比取值为 1.2 或 2,将使中国玉米秸秆年总产量计算结果相差 1.12 亿 t 左右。

1.3 对农作物产量统计指标认识不清直接导致秸秆产量的计算失误

该问题主要出现在对棉秆产量的估算上。众所周知,棉花经济产品有皮棉和籽棉之分。在中国有关农产品的统计年鉴中,棉花产量皆是指皮棉产量。例如国家统计局农村社会经济调查司编《中国农村统计年鉴 2005》在其使用说明中明确指出:“棉花:不包括木棉,按去籽后的皮棉计算……。”

如果直接利用统计年鉴中的棉花产量即皮棉产量作为基础数据计算棉秆产量,必须把皮棉与棉秆之比作为棉花的谷草比。据牛若峰、刘天福主编《农业技术经济手册(修订本)》^[6]提供的资料:籽棉与棉秆之比为 1:3.4,皮棉与籽棉之比为 1:2.7。据此计算的皮棉与棉秆之比为 1:9.2。如果把籽棉与棉秆之比作为棉花的谷草比,必须根据皮棉与籽棉之比,把统计年鉴中的棉花产量即皮棉产量折算为籽棉产量。由于对统计年鉴中棉花产量的具体含义认识有误,很多人在计算棉秆产量时忽视了该环节。

国家发展改革委基础产业发展司《中国新能源与可再生能源 1999 白皮书》^[4]和曹国良等^[5]在计算棉秆产量时,皆以中国农村能源行业协会的谷草比为依据,把棉花谷草比取值为 1:3.0,这显然是指籽棉与棉秆之比。而所列各年份棉花产量又皆是皮棉产量(参阅相应年份的农业部《中国农业统计资料》或国家统计局农村社会经济调查司《中国农村统计年鉴》)。由于把皮棉的统计产量当成籽棉的统计产量,据此《中国新能源与可再生能源 1999 白皮书》^[4]计算的 1995 年全国棉秆产量为 1 430.50 万 t,曹国良等^[5]计算的 2001 年、2002 年、2003 年全国棉秆产量分别为 1 597.00 万、1 474.80 万和 1 458.00 万 t,而相应年度全国实际棉秆产量(按皮棉产量与棉秆产量之比 1:9.2 计)分别为 1998 年 4 386.56 万 t、2001 年 4 898.08 万 t、2002 年 4 522.72 万 t、2003 年 4 471.20 万 t。由此可见,仅仅由于对统计年鉴中棉花产量具体含义的认识错误,就使中国棉秆年产量少计算了 3 000 万 t 左右。钟华平等、李京京^[7-8]等在计算全国棉秆产量时也存在同样的问题。

2 估算方法

本文主要采用了草谷比法和副产品相对质量密度法对秸秆产量进行估算。

2.1 草谷比法

草谷比(S_G)是指农作物地上茎秆产量与经济产量之比,它是评价农作物产出效率的重要指标,又称为农作物副产品与主产品之比。农作物经济产量是指人们需要的有经济价值的农作物主要产品的产量,又称其为农作物主产品产量。有关统计年鉴中各类农作物产量即指农作物的该部分生物量。对于粮食、油料等农作物,籽实产量即是经济产量。

农作物地上茎秆产量即一般意义上的农作物秸秆产量，又称为农作物副产品产量。对于以籽实、瓜果、叶莢等为收获对象的农作物，地上茎秆产量等于其地表生物量减去其经济产量。对于马铃薯、甘薯、甜菜、萝卜、花生等以地下块根、块茎、莢果为收获对象的农作物，地上部分可全部视为秸秆。

在草谷比和农作物经济产量已知的条件下，可用下述公式计算农作物秸秆产量

$$W_s = W_p \times S_G \tag{1}$$

式中： W_s ——农作物秸秆产量，t； W_p ——农作物经济产量，t； S_G ——草谷比即农作物秸秆产量与农作物经济产量之比值。

例如水稻的草谷比（ S_G ）为 0.9，稻谷的产量（ W_p ）为 10 万 t，则稻草的产量（ W_s ）为 10 万 t×0.9=9 万 t。

草谷比法是计算农作物秸秆产量的最主要的方法。草谷比（ S_G ）与谷草比（ G_S ）呈倒数关系： $S_G = 1/G_S$ 。

2.2 副产品相对质量密度法

对于部分农作物副产品（如稻壳、花生壳等）的产

量也可根据其占农作物经济产量的相对质量密度来计算。例如在水稻生产中，稻谷是其经济产品，稻谷的平均出米率为 73%，稻壳占稻谷的相对质量密度为 27%，稻谷的产量为 10 万 t，则稻壳的产量为 10 万 t×0.27=2.7 万 t。用公式表达为

$$W'_s = W_p \times R_{s/p} \tag{2}$$

式中： W' ——农作物副产品产量，t； $R_{s/p}$ ——农作物副产品产量占其经济产量的相对质量密度。

3 草谷比的确定

草谷比的确定是秸秆产量估算准确与否的关键。本文采用的农作物草谷比主要引自牛若峰、刘天福主编《农业技术经济手册（修订本）》^[6]，或根据该《手册》提供的有关农业技术经济参数计算而得。原《手册》把谷草比称为农作物主副产品比例，与草谷比呈倒数关系。对于某些不能从该《手册》获取的草谷比，主要由作者根据实地调查和实测运用上述方法计算补充，最终的认定结果全部列示于表 2。

表 2 中国主要农作物副产品与主产品比例(草谷比)
Table 2 Ratio of the main-products yield to that of by-products of main crops in China

项 目	数值	资料来源
1.稻草产量与稻谷产量之比	0.9	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页
2.稻谷平均出米率/%	73.0	《农业技术经济手册（修订本）》第 304 页
3.稻壳质量占稻谷质量的平均相对质量密度/%	27.0	根据稻谷的粳米平均出米率计算。稻壳质量占稻谷质量的平均相对质量密度(%)=100%－稻谷的粳米平均出米率(%)
4.麦秸产量与小麦产量之比	1.1	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页。
5.玉米秸产量与玉米产量之比	1.2	
6.玉米芯产量与玉米产量之比	0.25	作者实测
7.谷子、高粱等杂粮秸秆产量与其籽实产量之比	1.6	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页。
8.大豆秸秆产量与大豆产量之比	1.6	
9.绿豆、蚕豆、豌豆等杂豆秸秆产量与其籽实产量之比	2.0	根据对河南、山东、湖北 3 省绿豆、蚕豆、豌豆、红小豆等杂豆作物生产的调查结果给定
10.薯类藤蔓与薯类产量之比	0.5	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页。
11.花生秧产量与花生果（包括花生仁和花生壳）产量之比	0.8	
12.花生壳质量占花生果质量的平均相对质量密度/%	31.3	作者实测
13.油菜秆产量与油菜籽产量之比	1.5	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页
14.芝麻秸产量与芝麻产量之比	2.2	
15.胡麻秆产量与胡麻籽产量之比	2.4	根据对新疆、内蒙古两自治区胡麻和向日葵生产的调查结果给定
16.向日葵秆（包括向日葵盘）产量与向日葵籽（包括仁和壳）产量之比	3.0	
17.棉秆产量与籽棉产量之比	3.4	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页
18.籽棉产量与皮棉产量之比	2.7	《农业技术经济手册（修订本）》第 304 页
19.棉秆产量与皮棉产量之比	9.2	根据籽棉产量与皮棉产量之比值和棉秆产量与籽棉产量之比值计算
20.黄红麻副产品产量与主产品产量之比	1.9	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页
21.大麻（线麻）副产品产量与主产品产量之比	3.0	
22.苕麻副产品产量与主产品产量之比	1.5	参照湖南省资兴市统计局《农林牧渔业统计知识》给出的全市不同地貌类型区的苕麻谷草比，结合对该省苕麻生产的调查结果给定
23.亚麻秆产量与亚麻籽产量之比	4.0	根据对黑龙江省和新疆维吾尔自治区亚麻生产的调查结果给定
24.亚麻叶稍占整株亚麻质量的平均相对质量密度/%	17~22	
25.亚麻秆平均出麻率/%	28	《农业技术经济手册（修订本）》第 306 页
26.亚麻副产品产量与主产品产量之比	0.78	麻类收购时，一般黄红麻、苕麻收生麻，亚麻收麻秆和麻籽。因此，在统计资料中，亚麻产量是指亚麻秆产量和亚麻籽产量之和。为便于直接利用统计资料中的亚麻产量折算亚麻副产品产量，此处的亚麻主副产品比例是指亚麻产量与亚麻叶稍产量加上光麻秆产量的比值，其数值根据上 3 行给定的比值计算
27.甘蔗平均出糖率/%	12	《农业技术经济手册（修订本）》第 305 页

接上页

项 目	数值	资料来源
28.蔗渣产量与蔗糖产量之比	2.0	《农业技术经济手册（修订本）》第 306 页
29.蔗渣产量（干质量）与甘蔗产量（鲜质量）之比	0.24	根据上两行中的数据计算
30.甘蔗叶梢产量(干质量)与甘蔗产量（鲜质量）之比	0.06	根据对广西自治区甘蔗生产的调查结果给定
31.甜菜平均出糖率/%	13	《农业技术经济手册（修订本）》第 305 页
32.湿甜菜渣平均干物质质量分数/%	9	《农业技术经济手册（修订本）》第 274 页
33.甜菜渣产量（干质量）与甜菜产量（鲜质量）之比	0.08	根据上两行中的数据计算
34.甜菜茎叶（干质量）与甜菜产量（鲜质量）之比	0.10	根据对新疆、内蒙古两自治区甜菜生产的调查结果给定
35.烤烟副产品产量与主产品产量之比	1.6	《农业技术经济手册（修订本）》第 309 页
36.蔬菜藤蔓及残余物（干质量）与蔬菜产量（鲜质量）之比	0.10	参照薯类、甜菜等农作物副产品比例给定

4 秸秆资源数量估算结果分析

本文以农业部各年度《中国农业统计资料》、《国际统计年鉴 2006》中的相关统计资料为基础数据，按照表 2 中经过订正的谷草比，计算并汇总出 1990 年以来的历年全国分类秸秆总产量与 2005 年世界秸秆总产量。计算结果表明，2005 年全国秸秆总产量达到 84 183.12 万 t（表 3）。

表 3 2005 年全国秸秆分类产量
Table 3 Classified straw yields in China in 2005

秸秆类别	数量/10 ⁴ t	占秸秆总产量相对质量密度/%
秸秆总产量	8 4183.12	100.00
1 粮食作物秸秆	59 110.02	70.22
1.1 谷物秸秆	53 714.22	63.81
1.1.1 水稻秸秆	21 129.26	25.10
1.1.1.1 稻草	16 253.28	19.31
1.1.1.2 稻壳	4 875.98	5.79
1.1.2 小麦秸秆	10 718.95	12.73
1.1.3 玉米秸秆（芯）	20 207.93	24.00
1.1.3.1 玉米秸秆	16 723.80	19.87
1.1.3.2 玉米芯	3 484.13	4.14
1.1.4 其他谷物秸秆	1 658.08	1.97
1.2 豆类作物秸秆	3 661.80	4.35
1.2.1 大豆秸秆	2 616.00	3.11
1.2.2 其他豆类作物秸秆	1 045.80	1.24
1.3 薯类藤蔓	1 734.00	2.06
2 油料作物秸秆	4 423.34	5.25
2.1 花生秧和花生壳	1 596.21	1.90
2.1.1 花生秧	1 147.32	1.36
2.1.2 花生壳	448.89	0.53
2.2 油菜秆	1 957.84	2.33
2.3 芝麻秸	137.59	0.16

2.3 芝麻秸	137.59	0.16
2.4 胡麻秆	86.91	0.10
2.5 向日葵秆	578.36	0.69
2.6 其他油料作物秸秆	66.44	0.08
3 棉秆	5 257.04	6.24
4 麻秆	124.90	0.15
4.1 黄红麻秆	15.74	0.02
4.2 苧麻秆	41.56	0.05
4.3 大麻（线麻）秆	12.40	0.01
4.4 亚麻秆	54.18	0.06
4.5 其他麻类作物秸秆	1.03	0.00
5 糖料作物副产品	2 741.01	3.26
5.1 甘蔗渣和甘蔗叶梢	2 599.14	3.09
5.1.1 甘蔗渣	2 079.31	2.47
5.1.2 甘蔗叶梢	519.83	0.62
5.2 甜菜渣和甜菜茎叶	141.87	0.17
5.2.1 甜菜渣	63.05	0.07
5.2.2 甜菜茎叶	78.81	0.09
6 烟秆	429.28	0.51
7 药材作物残余物	570.60	0.68
8 蔬菜藤蔓及残余物	7 648.33	9.09
9 其他物秸秆	3 878.60	4.61

注：不含港澳台数据

4.1 本研究对中国秸秆总产量估算结果明显高于相关研究估算结果

本研究估算 1995 年全国秸秆总产量为 73 103.77 万 t，与《中国新能源与可再生能源 1999 白皮书》^[4]估算结果（60 466.14 万 t）相比高出 20.90%。2001 年、2002 年、2003 年估算的结果分别为 76 656.24 万、78 780.36 万和 75 684.71 万 t，比曹国良等^[5]的估算结果分别高 25.73%、26.43%和 27.72%。

表 4 全国秸秆总产量典型年份不同估算结果比较
Table 4 Comparison of different estimation results for straw yield in China in typical years 10⁴ t

年份	本研究对中国秸秆总产量的估算结果	相关研究对中国主要作物秸秆产量的估算结果		前者比后者高	
		资料来源	数 值	绝对值	百分比/%
1995	73 103.77	《中国新能源与可再生能源 1999 白皮书》 ^[4]	60 466.14	12 637.63	20.90
2001	76 656.24	曹国良等《中国大陆秸秆露天焚烧的量的估算》 ^[5]	60 967.00	15 689.24	25.73
2002	78 780.36		62 311.00	16 469.36	26.43
2003	75 684.71		59 257.00	16 427.71	27.72

4.2 中国是世界第一秸秆大国

计算结果表明,2005 年全球秸秆总产量为 447 152.34 万 t, 其中秸秆产量超过 1 亿 t 的国家有 8 个, 其产量合计为 277 376.40 万 t, 占全球秸秆总产量的 62.03%。同年度中国秸秆总产量为 84 183.12 万 t, 占全球秸秆总产量的 18.83%。从人均秸秆产量看, 中国人均秸秆产量较低, 仅为 644 kg, 是世界平均水平 87.14% (表 5)。

表 5 2005 年全球秸秆总产量超过 1 亿 t 的秸秆大国
Table 5 Countries which straw yield excess a hundred million in the world in 2005

排序	国家和地区	秸秆总产量/10 ⁴ t	占世界/%	人均秸秆/kg
0	世 界	447 152.34	100.00	739
1	中 国	84 183.12	18.83	644
2	美 国	69 925.19	15.64	2 477
3	印 度	45 981.10	10.28	453
4	巴 西	32 066.36	7.17	1 885
5	阿根廷	12 760.42	2.85	3 446
6	印度尼西亚	11 728.48	2.62	569
7	法 国	10 418.24	2.33	1 769
8	俄罗斯	10 313.49	2.31	708

4.3 中国秸秆总产量呈不断增长之势

随着中国农业综合生产水平的持续提高, 中国秸秆总产量总体上呈不断增长之势 (图 1)。1990 年中国秸秆总产量不到 7 亿 t, 1998 年首次突破 8 亿 t。1998 年后, 中国秸秆总产量呈波动性下降, 2003 年降至不足 7.7 亿 t, 与 1998 年相比净减少 5 161.26 万 t。该时期全国秸秆总产量的减少, 主要是由于 1998 年以后中国开始全面实施农业结构战略性调整所形成的。2004—2005 年是中国秸秆总产量的快速增长时期, 年总产量稳定在 8 亿 t 以上, 2 a 间共计增长 8 498.41 万 t, 增长率高达 11.23%。2005 年全国秸秆总产量达到 84 183.12 万 t, 与 1990 年相比共计增长了 21.19%, 年均增长 1.3%。

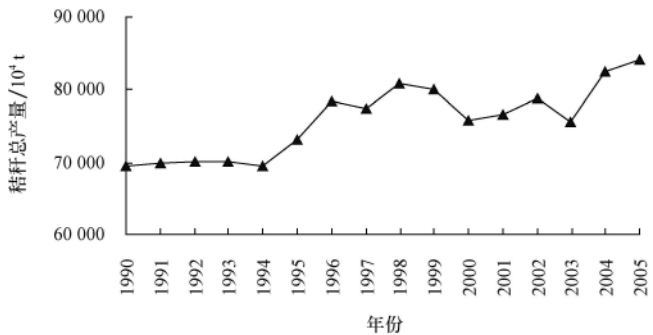


图 1 1990—2005 年中国农作物秸秆总产量变化
Fig.1 Variations of gross crop straw yield from 1990 to 2005 in China

4.4 粮食作物秸秆依然是中国主要的农作物秸秆类型

2005 年在中国秸秆总产量中, 粮食作物秸秆为 59 110.02 万 t, 占 70.22%; 经济作物秸秆为 21 194.50

万 t, 占 25.18%; 其他农作物秸秆产量为 3 878.60 万 t, 占 4.61%。稻草、玉米秸、麦秸是中国产量最高的 3 大作物秸秆, 2005 年其产量分别为 21 129.26 万、20 207.93 万和 10 718.95 万 t, 分别占全国秸秆总产量的 25.10%和 24.00% 和 12.73%。上述 3 大作物秸秆产量合计为 52 056.14 万 t, 占全国秸秆总产量的 61.84%。

4.5 稻壳、玉米芯、蔗渣等农副产品具有较大开发潜力

2005 年蔬菜藤蔓及残余物为 7 648.33 万 t, 占全国秸秆总产量的 9.09%。蔬菜副产品即蔬菜藤蔓及残余物已经成为中国仅次于水稻、玉米、小麦 3 大粮食作物秸秆的第四大农作物秸秆和经济作物中产量最高的秸秆。同时, 农产品初级加工副产品稻壳、玉米芯、蔗渣、甜菜渣等, 2005 年产量分别为 4 875.98 万、3 484.13 万、2 079.31 万和 63.05 万 t, 合计为 10 502.47 万 t。这些副产品不仅具有可观的开发潜力, 而且大多数便于收集利用。尤其是稻壳, 其产量比全国油料作物秸秆总产量还要高 10.23%, 主要产于稻米加工厂, 是良好的新能源开发原料。

5 对中国秸秆资源估产结果的两点说明

首先, 本文对全国秸秆总产量的汇总结果, 是建立在对全国各种农作物秸秆产量全面估算基础上的, 无论是主要农作物还是次要农作物无一遗漏, 并对如下农作物秸秆产量的估算作了特别处理: 一是, 播种面积较小、总产量较低的农作物, 在统计资料中一般未单独列出, 而是把其统一计入同类农作物的“其他”中。对于这些相对次要农作物的秸秆的草谷比主要根据其同类农作物的平均谷草比来计算。二是, 在历年中国农业统计资料中, 有两大类农作物即“药材类”和“其他农作物”, 对它们只统计了面积, 没有统计产量。对于药用作物, 既有以秆、茎、叶、花、果、皮、壳、芯等入药的, 也有以根、须、块根、块茎等入药的, 且品种十分繁杂, 很难确定其副产品相对质量密度。因此, 本文中的药用作物副产品产量, 主要根据其播种面积与同年度块根类、块茎类、茄果类、菜豆类蔬菜和薯类等农作物的平均副产品单产来估算。在“其他农作物”中, 青饲料占有一定的相对质量密度。青饲料中又以青饲玉米为主, 虽然青饲玉米营养体单产较一般玉米秸秆单产高, 但其他青饲料单产一般不如玉米秸秆单产。因此, 本文中的青饲料产量统一根据其播种面积与同年度玉米秸秆平均单产来估算。对于除青饲料以外的“其他农作物”, 其秸秆产量主要根据其播种面积与杂粮、油料等作物的秸秆平均单产来估算。

其次, 本文所述秸秆资源数量主要是指秸秆的晾晒相对质量密度, 其含水率一般在 6%~15%左右, 而不是严格意义上的干物质质量。表 6 是几种主要农作物秸秆晾晒风干后的水分含量。只有对那些易腐烂的作物茎叶 (如叶菜的残余物) 或以鲜用为佳的副产品 (如马铃薯茎叶、甜菜茎叶、甜菜渣等), 才根据其平均干物质含量来折算其产量。

表 6 主要农作物秸秆晾晒风干后的含水率

Table 6 Humidity content of the straw of main crops after air-drying %

秸秆种类	含水率	秸秆种类	含水率
稻草	6.0	谷子秸	13.5
稻壳	9.0	大豆秸秆	10.3
麦秸	13.5	荞麦秆	9.9
玉米秸	15.0	甘薯蔓	12.3
玉米芯	9.7	马铃薯茎叶	11.3
高粱秆	10.2		

资料来源：牛若峰、刘天福主编《农业技术经济手册（修订本）》（农业出版社，1984 年 12 月）第 280-282 页。

6 结 论

1) 中国秸秆资源估算存在着统计不完全、草谷比取值不当等问题。用主要农作物秸秆产量代替秸秆资源总产量使中国秸秆资源总量显著偏低；草谷比取值不当是中国秸秆资源结果严重失实的重要方面，其中对水稻草谷比取值偏低可使中国稻草产量少计算数千万吨，对玉米草谷比取值偏高可使中国玉米秸秆产量多计算上亿吨。对农作物产量统计指标认识不清直接导致秸秆产量的计算失误，该问题主要出现在对棉秆产量的估算上。

2) 根据本研究考证、补充、修订、测定的草谷比的计算，2005 年全国秸秆总产量达到 84 183.12 万 t，是世界第一秸秆大国。中国人均秸秆产量低于世界人均平均水平。

3) 中国秸秆总产量总体上呈不断增长之势。2005 年全国秸秆总产量达到 84 183.12 万 t，与 1990 年相比共计增长了 21.19%，年均增长 1.3%。

4) 粮食作物秸秆依然是中国的主要作物秸秆类型。稻草、玉米秸、麦秸是中国产量最高的 3 大作物秸秆。农产品初级加工副产品如稻壳、玉米芯、蔗渣、甜菜渣等总产量合计已超过 1 亿 t，具有可观的新能源开发前景。

参 考 文 献

- [1] 王丽, 李雪明, 许妍. 中国大陆秸秆露天焚烧的经济损失研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 170—176. Wang Li, Li Xueming, Xu Yan. The economic losses caused by crop residues burnt in open field in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(2): 170—176. (in Chinese with English abstract)
- [2] 汪海波, 秦元萍, 余康. 我国农作物秸秆资源的分布、利用与开发策略. 国土与自然资源研究[J], 2008, (2): 92—93. Wang Haibo, Qin Yuanping, Yu Kang. Utilization, distribution and exploitation tactics of crop stalk resources in China[J]. Territory & Natural Resources Study, 2008, (2): 92—93. (in Chinese with English abstract)
- [3] 中华人民共和国农业部. 农业生物质能产业发展规划（2007~2015 年）[R]. 2007: 24—26.
- [4] 中华人民共和国发展计划委员会基础产业发展司编. 中国新能源与可再生能源 1999 年白皮书[M]. 北京: 中国

计划出版社, 2000.

- [5] 曹国良, 张小曳, 郑方成, 等. 中国大陆秸秆露天焚烧的量的估算[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 62—67. Cao Guoliang, Zhang Xiaoye, Zheng Fang cheng, et al. Estimating the quantity of crop residues burnt in open field in China [J]. Resources Science, 2003, 25(4): 62—67. (in Chinese with English abstract)
- [6] 牛若峰, 刘天福. 农业技术经济手册（修订本）[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [7] 李京京, 任东明, 庄幸. 可再生能源资源的系统评价方法及实例[J]. 自然资源学报, 2001, 7(4): 373—380. Li Jingjing, Ren Dongming, Zhuang Xing. Systemic evaluation method of renewable energy resources and its practical application[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 7(4): 373—380. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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. Zhong Huaping, Yue Yanzhen, Fan Jiangwen. Characteristics of crop straw resources in China and its utilization[J]. Resources Science, 2003, 25(4): 62—67. (in Chinese with English abstract)
- [9] 温怀楠. 早稻草谷比优势及其成因的分析[J]. 浙江农业科学, 1988, (1): 7—10. Wen Huainan. Advantage of the ratio of grain to straw for early rice and its cause anlysis[J]. Journal of Agricultural Science, 1988, (1): 7—10. (in Chinese with English abstract)
- [10] 中国农业百科全书编委会编. 中国农业百科全书《农业气象卷》[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [11] 山东省科学技术协会编. 山东省发展农作物秸秆综合利用技术推广应用综合研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005: 36—38.
- [12] 祝延成, 李志坚, 张为政, 等. 东北平原引草入田粮草轮作的初步研究[J]. 草业学报, 2006, 12(3): 34—43. Zhu Yancheng, Li Zhijian, Zhang Weizheng, et al. A preliminary report on the cereal-forage rotation system in the plain of Northeast China[J]. Acta Pratacultural Science, 2006, 12(3): 34—43. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王西娜, 王朝辉, 李生秀. 施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 197—204. Wang Xina, Wang Zhaohui, Li Shengxiu. The effect of nitrogen fertilizer rate on summer maize yield and soil water-nitrogen dynamics[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 197—204. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨京平, 陈杰, 严力蛟, 等. 稻田渍水及土壤水分平衡对春玉米生长影响的模拟分析[J]. 水利学报, 2001, (12): 88—94. Yang Jingping, Chen Jie, Yan Lijiao, et al. Simulation analysis of the effects of soil waterlogging and water balance on the development and yield of spring corn in paddy field[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, (12): 88—94. (in Chinese with English abstract)
- [15] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15 000 kg·ha⁻¹ 以上夏玉米灌浆期间的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898—1906. Huang Zhenxi, Wang Yongjun, Wang Kongjun, et al.

- Photosynthetic characteristics during grain filling stage of summer maize hybrids with high yield potential of 15 000 kg·hm⁻¹[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1898—1906. (in Chinese with English abstract)
- [16] 隋方功, 葛体达, 周广胜, 等. 干旱对玉米碳素同化、运转与分配的影响研究[J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 234—237.
- Sui Fanggong, Ge Tida, Zhou Guangsheng. Studies on accumulation, translocation and redistribution of carbon in summer maize under drought Chinese[J]. *Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3): 234—237. (in Chinese with English abstract)
- [17] 周姣粉, 杨林昌, 袁现明. 不同类型夏玉米种植密度与产量相关性试验研究[J]. *河南农业*, 2007, (7): 19—20.
- Zhou Jiaofen, Yang Linchang, Yuan Xianming. Trial research on the correlation of cultivation density and production of different type of corn[J]. *Agriculture of Henan*, 2007, (7): 19—20. (in Chinese with English abstract)

Estimation of straw resources in China

Bi Yuyun¹, Gao Chunyu¹, Wang Yajing¹, Li Baoyu²

(1. *Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *School of Economy and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*)

Abstract: There are some problems such as statistics lacking, unsuitability of the ratio of main product output to that of by-product of the crops in the estimation of straw resources. The paper chooses the revised ratio of main product output to that of by-product of crops and estimates the quantity of straw resource comprehensively and systematically. The estimation results show that the total straw yield in China has a generally increasing trend with the improvement of agricultural comprehensive production capacity, and China is the biggest country in straw resources that its total output of straw resources in 2005 reached 841 831 200 t, which the straw of food crops was the main source. It has a great potential for rice husk, corncob, bagasse to develop new energy.

Key words: straw, estimation, China, resources, quantity, the ratio of output of main product to by-product of the crops