

中国作物秸秆资源评估研究现状

谢光辉^{1,2*}, 王晓玉^{1*}, 任兰天¹

1 中国农业大学农学与生物技术学院农学系, 北京 100193

2 中国农业大学生物质工程中心, 北京 100193

摘要: 文中分析了中国的农作物秸秆资源量, 对实现秸秆资源化具有重要意义。首先明确了秸秆的概念, 即收获作物主产品之后所有大田剩余的副产物及主产品初加工过程产生的副产物, 根据不同产出环节将秸秆分为田间秸秆和加工副产物。其次, 阐述了秸秆评估的计算方法, 给出了各种作物秸秆计算方法。第三, 总结了近 10 年发表文献和作者近期研究对 1991 年以来中国秸秆资源量评估结果, 对 1991–1999 年中国作物田间秸秆资源量评估的值多数为 6.0~6.8 亿 t, 对加工副产物资源量未见报道; 对 2000–2007 年田间秸秆产量的评估的值多数为 5.9~7.3 亿 t, 作物加工副产物量为 0.9~1.1 亿 t。第四, 分析了对中国秸秆资源量评估值差异的原因等问题, 包括以往研究作物秸秆的概念不明确, 草谷比取值差异大而不符合当前作物生产现状, 以及对于农作物产量的统计指标和产量构成认识不清楚等。第五, 报道了作者以最近 5 年测定的各省作物收获指数, 采用完全统计方法评估了 2006–2007 年中国作物秸秆量及其在 8 个地区的分布, 结果表明秸秆资源总量为 7.4 亿 t, 包括 6.5 亿 t 田间秸秆和 0.9 亿 t 作物加工副产物。

关键词: 田间秸秆, 加工副产物, 草谷比

China's crop residues resources evaluation

Guanghui Xie^{1,2*}, Xiaoyu Wang^{1*}, and Lantian Ren¹

1 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 Biomass Engineering Centre, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: The availability of crop residues in China is reviewed in this article. The definition of crop residues is clarified as the total byproducts of field production and processing industry thereafter, and methodology for evaluating crop residues is discussed. Based on literature, the progress on the crop residue assessment is addressed. The annual field crops residues in China from 1991 to 1999 were estimated between 6.0–6.8 hundred million tons, while the data for the process residues were not available. From 2000 to 2007, the annual crop residues were estimated between 5.9–7.3 hundred million tons, while the processing residues at the range of 0.9–1.1 hundred million tons. The reasons for the significant variations are due to the disagreement on crop residue definition, different, even inaccurate residue to grain ratio data used in the estimations, and the lacking of clear understanding on the statistical analysis and grain outputs related to the crop residue evaluation. With the complete statistic analysis method, the author's group evaluated the residues in 2006 and 2007 to be 7.4 hundred million tones in total, including 6.5 hundred million tons for field crop residues and 0.9 hundred million tons for process residues. Moreover, the geographic distribution of the field crop residues was

Received: May 21, 2010; **Accepted:** June 30, 2010

Supported by: Key Projects in the National Science and Technology Pillar Program during the Eleventh Five-Year Plan Period (No. 2006BAD07A04).

Corresponding author: Guanghui Xie. Tel: +86-10-62734888; Fax: +86-10-62731298; E-mail: xiegh@cau.edu.cn

*These authors contributed equally to this study.

“十一五”国家科技支撑计划 (No. 2006BAD07A04) 资助。

analyzed based on the harvest indices (HI) tested within the near five years.

Keywords: field residues, process residues, residue to grain ratio

作物秸秆是重要的有机物和能源资源, 中国是农业大国, 秸秆资源尤其丰富。在农业生产的基本循环中, 秸秆还田对保持土地肥力、防止土壤侵蚀、维持作物可持续生产具有重要作用。而且, 长期以来秸秆还是畜牧业主要的饲料来源, 也是农村炊事和取暖的主要能源。当前, 由于生物质产业这一新兴产业的发展, 秸秆还在食用菌养殖、密度压缩板材和造纸等方面有了更广泛的用途。尤其是在石油资源日益枯竭和生态环境不断恶化的形势下, 生物质能源和生物基化学材料已成为当前越来越重要的发展领域, 使得秸秆资源利用受到了世界各国前所未有的重视。因此, 研究分析中国的农作物秸秆资源量, 对实现秸秆资源化具有重大的现实意义。近年来, 中国农作物秸秆资源量及其利用的研究报道越来越多, 但是, 前人文献对我国秸秆总产量和种类分布的估算存在很大差异, 其结论莫衷一是。因此, 本文首先确定秸秆的概念, 分析秸秆评估计算方法, 以促进今后对秸秆资源量的研究。在此基础上, 对 10 年以来的前人对中国秸秆资源评估结果进行述评, 分析秸秆量报道结果差异较大的原因。进而, 回答当前中国作物秸秆总产量究竟有多少及其分布这一重要的问题, 为相关管理机构对秸秆研究和利用的决策提供依据。

1 作物秸秆的概念和分类

“秸秆”具有狭义和广义概念。一般地, 狭义概念为《辞海》中的解释, 即秸秆为作物的茎秆, 英文称为 Straw 或 Stalk; 广义概念是指收获作物主产品之后在田间剩余的副产物, 这里我们称之为“田间秸秆”, 等同于英文的 Field residue。但是, 这一广义概念仍不能满足当前秸秆研究和产业发展的需求, 我们认为秸秆应该有更为广义的概念^[1], 即是指收获作物主产品之后所有大田剩余的副产物及主产品初加工过程产生的副产物, 此定义等同于英文的 Crop residue。

对作物秸秆进行恰当的分类, 有助于完整理解和应用秸秆的概念的内涵和外延。根据不同产出环节, 将秸秆分为田间秸秆 (Field residue) 和加工副产物 (Process residue)。田间秸秆指作物主产品之后在大田地上部分剩余的所有作物副产物, 主要包括作物的茎和叶。加工副产物是指作物粗级加工过程中产生的剩余物, 如玉米芯、稻壳、花生壳、甘蔗渣、木薯渣等, 但不包括麦麸、谷糠等其他精细加工的副产物。

按照作物种类对秸秆进行分类也是很重要的。凡是对作物分类的方法, 均可用于相应的秸秆分类, 主要包括大田作物秸秆 (Field crop residue) 和园艺作物秸秆 (Horticultural crop residue)。大田作物秸秆包括禾谷类作物秸秆、豆类作物秸秆和薯类作物秸秆等粮食作物秸秆, 以及纤维类作物秸秆、油料类作物秸秆、糖料类作物秸秆和嗜好类作物秸秆等经济作物秸秆。再往下分可到每一个具体作物的秸秆, 如水稻秸秆、棉花秸秆等。园艺作物秸秆包括草本的蔬菜、果树和花卉作物的秸秆, 但不包括苹果、柑桔等木本作物修剪或其他操作产生的剩余物。由于园艺作物种植面积小, 作物种类多且准确评估秸秆量有一定的难度。因此, 评价中国作物秸秆产量时一般不考虑园艺作物, 作物秸秆往往仅指大田作物秸秆。

2 作物秸秆量估算方法

2.1 田间秸秆

通常田间秸秆的产量由国家农业部门或统计部门发布的作物经济产量 (Production), 以收获指数 (Harvest index) 或草谷比 (Residue/Grain ratio, R/G) 计算获得。在我国, 收获指数也叫经济系数, 但前者为国际通用的概念, 是指作物经济产量占其地上部分生物产量的比值; 其中, 经济产量是指人们传统上认为有经济价值的主产品产量, 生物产量是指作物地上部分植物体的总重量, 包括作物的经济产

量和田间秸秆产量。因此, 以收获指数计算某作物田间秸秆公式为:

$$\begin{aligned} \text{田间秸秆产量} &= \text{经济产量} / \text{收获指数} - \text{经济产量} \\ &= \text{经济产量} \times (1 / \text{收获指数} - 1)。 \end{aligned}$$

草谷比是指作物田间秸秆产量与经济产量之比, 即作物副产品与主产品产量之比, 以草谷比计算某作物田间秸秆的公式为:

$$\text{田间秸秆产量} = \text{经济产量} \times \text{草谷比}。$$

有研究报道把以草谷比和收获指数计算田间秸秆产量的方法, 分别称为草谷比法和收获指数法^[1], 我们认为这其实是一种方法, 以收获指数计算作物田间秸秆产量和以草谷比计算的结果是相同的, 因为这两个概念是对作物经济产量和田间秸秆产量之间关系不同的表示方式。

由于以草谷比计算田间秸秆产量给人以直接且易于理解的关系, 10年来评估中国秸秆资源量的文献中, 大多数利用草谷比计算^[2-7], 很少的文献以收获指数计算^[8], 但是, 我们能从作物研究的文献中直接获得收获指数, 以往的作物研究很少报道草谷比。评估秸秆资源量应用的草谷比, 溯其根源, 主要都应以收获指数进行换算而得到的, 其公式为:

$$\text{草谷比} = 1 / \text{收获指数} - 1。$$

以上计算方法通常适用于各种作物, 但是有些作物有其特殊性。第一, 花生、薯类作物和某些地区的棉花在收获时, 会拔出一定量的根。这部分根也应属于田间秸秆, 应将以草谷比计算得到的地上部田间秸秆加上拔出根 (Pulled root) 重量即为该作物田间秸秆总量。拔出根重的计算公式为:

$$\text{拔出根重} = \text{拔出根系数} \times \text{地上部田间秸秆重};$$

拔出根系数 = 拔出根重 / 地上部田间秸秆重 (取样测定或由文献获得)。

第二, 玉米也有其特殊性, 玉米经济产量为籽粒产量, 因此以草谷比估算的玉米田间秸秆应扣除玉米芯量, 玉米芯属于加工副产物。玉米的田间秸秆计算公式为:

$$\text{玉米田间秸秆量} = \text{经济产量} \times \text{草谷比} - \text{玉米芯产量}。$$

第三, 对于棉花, 其产量有子棉和皮棉两种产量。由于国家统计数据中棉花产量是皮棉产量, 从

文献中查阅收获指数量应注意获得或换算为皮棉的草谷比。而且, 还要注意, 以这个草谷比计算田间秸秆时要减去棉籽, 棉籽不属于田间秸秆。因此棉花田间秸秆计算公式如下:

$$\text{棉花田间秸秆量} = \text{经济产量} (\text{皮棉}) \times \text{草谷比} - \text{棉籽产量};$$

$$\text{棉籽产量} = \text{经济产量} (\text{皮棉}) \times (1 / \text{衣分} - 1)。$$

2.2 加工副产物

部分作物有加工副产物, 其产量通常可根据作物经济产量和加工副产物系数相乘获得, 加工副产物占作物经济产量的比值被称为加工副产物系数 (Process residue index), 在实际中常用以下公式:

$$\text{水稻加工副产物 (稻壳) 系数} = 1 - \text{糙米率};$$

$$\text{花生加工副产物 (花生壳) 系数} = 1 - \text{出仁率};$$

$$\begin{aligned} \text{棉花加工副产物 (棉子壳) 系数} &= \text{棉籽出壳率} \\ &\times (1 / \text{衣分} - 1) (\text{棉籽出壳率即单位重量的棉籽产出的棉壳重量}); \end{aligned}$$

$$\text{甘蔗加工副产物 (甘蔗渣) 系数} = \text{甘蔗渣重量} / \text{甘蔗茎秆重量};$$

$$\text{玉米加工副产物 (玉米芯) 系数} = \text{玉米芯重量} / \text{玉米籽粒重量}。$$

3 中国秸秆资源量

中国 1991-1999 年作物秸秆资源量评估的多数为 6.0~6.8 亿 t^[4,7,9-10], 这些研究均没有将作物加工副产物纳入评估范围, 因此, 准确地说, 这些秸秆资源量应为“田间秸秆”资源量(表 1), 而钟华平等^[8]估算 1998 年田间秸秆量高达 7.95 亿 t, 相对于 90 年代的田间秸秆量最低值^[11]差异接近 2 亿 t。如此大的差异, 可能是计算不当导致的, 例如, 与 Li 等^[7]评估的 1997 年秸秆数值相比, 2 个研究的玉米草谷比相同, 但钟华平等^[8]的玉米田间秸秆量却高出约 1 亿 t, 提高幅度为 58%, 我国玉米总产量年际虽然有一定的差异, 但如此大的差异是不应该的。另外, 选取作物对象不同, 以及作物草谷比不同也是田间秸秆研究结果差异大的原因, 如有的水稻草谷比取值为 0.623^[7,11-12], 有的取值为 1^[1]或 0.97^[9]。

表 1 1991–1999 年中国作物秸秆资源量的评估 (秸秆量单位: 万吨)

Table 1 China's crop residues quantity during 1991–1999 (Residue quantity unit: 10⁴ ton)

Crop	R/G	Field residue		R/G	Field residue		R/G	Field residue		R/G	Field residue	
		1991	1995		1995	1997		1998	1999			
Rice	1.0 ^a	18 381	18 523	0.623 ^a	11 540	0.623 ^b	12 506	1 ^a	21 861	0.97 ^a	19 173	
Maize	2.0 ^b	19 755	22 397	2 ^a	22 398	2 ^b	16 841	2 ^b	26 591	1.37 ^a	17 548	
Wheat	1.4 ^a	13 433	14 309	1.366 ^a	13 962	1.366 ^b	20 862	1.1 ^c	12 070	1.03 ^a	11 729	
Other cereal	1.0 ^a	1 712	1 670	1 ^a	1 669	1 ^a	921	1.5 ^a	2 591	1.60 ^a	1 940	
Sorghum	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2 ^a	728	2 ^a	N/A	1.44 ^a	467	
Millet	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.51 ^a	350	
Bean	1.5 ^a	1 871	2 681	1.5 ^a	2 681	1.5 ^a	2 813	1.6 ^a	4 001	1.71 ^a	3 239	
Tuber	0.5 ^a	1 358	1 631	0.5 ^a	1 631	0.5 ^a	1 596	0.5 ^a	4 320	0.61 ^a	2 221	
Oil crop	2.0 ^b	3 277	4 501	2 ^a	4 501	2 ^b	4 315	2 ^a	5 609	N/A	5 116	
Peanut	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.52 ^a	1 921	
Sesame	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.64 ^a	48	
Sunflower	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.60 ^a	106	
Canola	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.00 ^a	3 041	
Cotton	3.0 ^b	1 703	1 430	3 ^a	1 430	3 ^b	1 381	3 ^b	1 350	3.00 ^b	1 149	
Bast fiber crop	1.0 ^a	88	90	N/A	N/A	N/A	N/A	1.7 ^a	83	1.70 ^a	80	
Sugar crop	0.1 ^a	842	794	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1 ^a	979	N/A	N/A	
Sugarcane	N/A	N/A	N/A	0.1 ^a	654	0.25 ^a	1 973	N/A	N/A	0.25 ^a	1 868	
Total		62 420	68 026		60 466		63 936		79 455		64 063	
		Wang <i>et al</i> ^[4]		MOA/DOE ^[11]		Li <i>et al</i> ^[7]		Zhong <i>et al</i> ^[8]		Han <i>et al</i> ^[9]		

R/G: Residue/Grain ratio; Literature cited for R/G: ^aunmarked or unclear; ^bMOA/DOE^[11]; ^cAgricultural Technology Economic Manual Editorial Board^[13].

曹国良等^[6]和汪海波等^[4]对 2000–2004 年秸秆资源量进行了研究,其评估值在 5.9 亿~6.9 亿 t 之间(表 2)。同样,这些研究也没有纳入作物加工副产物,其资源量也应为“田间秸秆”。这些研究出现的资源量差异的原因,除作物生产年际的变化外,主要是由于对草谷比取值不同造成的。其中,曹国良等^[6]的水稻草谷比取值为 0.623,该研究者对作物田间秸秆评估的值则较低,为 5.9 亿~6.2 亿 t;而汪海波等^[4]的水稻草谷比取值为 1,其田间秸秆评估的值则较高,为 6.6 亿~6.8 亿 t。

汪海波等^[4]对中国 2004 年和 2005 年秸秆资源量进行了研究, Li 等^[7]、张培栋等^[5]和毕于运等^[1]研究了 2005 年秸秆资源量。这两年的秸秆总产量为 7.2 亿~8.4 亿 t (表 3),显然,比对 2000–2004 年作物秸秆资源量的评估值提高了。评估值提高的原因除作物产量可能增加外,主要是增加了被评估的作物对象,体现在毕于运等^[1]的评估研究中,其秸秆

评估结果为最高量值 8.4 亿 t。毕于运等^[1]首次将药材、蔬菜和其他作物计入作物秸秆资源量中,这些作物秸秆量为 1.3 亿 t,而大田作物秸秆量被评估为 7.1 亿 t。同时,毕于运等^[1]也首次将作物加工副产物纳入作物秸秆资源评估,他们报道的作物田间秸秆量为 7.3 亿 t、加工副产物量为 1.1 亿 t。其余研究仍未包括作物加工副产物,其研究结果也应仅为田间秸秆量^[4-5,7]。而且毕于运等^[1]应用了相对较合理的草谷比取值,例如将玉米的草谷比取值为 1.2,而绝大多数前人研究均将玉米的草谷比取值为 2.0 (表 1~4)。在过去的近 20 年里,我国主要作物中玉米生产水平提高的幅度是最大的,将 21 世纪玉米生产的草谷比取值为 2.0,导致较大程度上高估了玉米秸秆产量。最后,应该指出的是 Li 等^[7]引用前人^[10]对玉米秸秆量评估值,比张培栋等^[5]和汪海波等^[4]的评估值高 17% (表 3),这些研究玉米的草谷比取值均为 2.0,其原因是 Li 等^[7]引用的值是对 2005 年玉米秸秆量的预测值。

表 2 2000–2003 年中国作物秸秆资源量的评估 (秸秆量单位: 万吨)

Table 2 China's crop residues quantity during 2000–2003 (Residue quantity unit: 10⁴ ton)

Crop	R/G	Field residue				R/G	Field residue		
		2000	2001	2002	2003		2001	2002	2003
Rice	1.0 ^a	18 791	17 758	17 454	16 066	0.62 ^d	11 063	10 874	10 008
Maize	2.0 ^b	21 200	22 818	24 262	23 166	2 ^d	22 818	24 262	23 166
Wheat	1.4 ^a	13 949	13 142	12 641	12 108	1.37	12 823	12 333	11 814
Other cereal	1.0 ^a	1 168	1 094	1 186	1 131	1 ^d	1 093	1 185	1 132
Bean	1.5 ^a	3 015	3 079	3 362	3 191	1.5 ^d	3 079	3 362	3 191
Tuber	0.5 ^a	1 843	1 782	1 833	1 757	0.5 ^d	178	1 833	1 757
Oil crop	2.0 ^b	5 910	5 730	5 794	5 622	2 ^d	5 730	5 794	5 622
Cotton	3.0 ^b	1 325	1 597	1 475	1 458	3 ^d	1 597	1 475	1 458
Bast fiber crop	1.0 ^a	53	68	96	85	1.7 ^d	116	164	145
Sugar crop	0.1 ^a	764	866	1029	964	0.1 ^d	866	1 029	96
Total		68 017	67 933	69 131	65 549		60 967	62 311	59 257

Wang *et al.*^[4]

Cao *et al.*^[6]

R/G: Residue/Grain ratio; Literature cited for R/G: ^a unmarked or unclear; ^b MOA/DOE^[11]; ^c Agricultural Technology Economic Manual Editorial Board^[13]; ^d China Association of Rural Energy Industry (CAREI)^[14].

表 3 2004–2005 年中国作物秸秆资源量的评估 (秸秆量单位: 万吨)

Table 3 China's crop residues quantity during 2004–2005 (Residue quantity unit: 10⁴ ton)

Crop	R/G	Field residue		R/G	Field residue		R/G	Field residue		Process residue index	Process residue	Crop residue
		2004	2005		2005	2005		2005	2005		2005	
Rice	1.0 ^a	17 909	18 059	0.623 ^b	12 467	1 ^a	18 059	0.9 ^c	16 253	0.27	4 876	21 129
Maize	2.0 ^b	26 057	27 873	2 ^b	32 704	2 ^b	27 873	1.2 ^c	16 724	0.25	3 484	20 208
Wheat	1.4 ^a	12 873	13 642	1.366 ^b	16 187	1.1 ^c	9 388	1.1 ^c	10 719			10 719
Other cereal	1.0 ^a	1 025	1 036	1 ^a	969	1.5 ^a	2 090	1.6 ^a	1 658			1 658
Sorghum	N/A	N/A	N/A	2 ^a	766	N/A	N/A	1.6 ^a	N/A			N/A
Millet	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.6 ^a	N/A			N/A
Bean	1.5 ^a	3 348	3 237	1.5 ^a	2 342	1.6 ^a	3 237	2 ^a	3 662			3 662
Tuber	0.5 ^a	1 779	1 734	0.5 ^a	1 679	0.5 ^a	3 469	0.5 ^a	1 734			1 734
Oil crop	2.0 ^a	6 132	6 154	2 ^b	5 700	N/A	N/A	N/A	4 423			4 423
Peanut	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.5 ^a	2 860	0.8 ^a	1 147	0.313	449	1 596
Sesame	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3 ^a	125	2.2 ^a	136			136
Benne	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.4 ^a	87			87
Sunflower	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3 ^a	578	N/A	N/A	578
Canola	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3 ^a	261	1.5 ^c	1 958			1 958
Cotton	3.0 ^b	1 897	1 714	3 ^b	1 560	3 ^b	1 697	9.2 ^a	5 257	N/A	N/A	5 257
Bast fiber crop	1.0 ^a	107	110	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	125			125
Sugar crop	0.1 ^a	957	945	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2 741			2 741
Sugar beet	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1 ^a	78	0.1 ^a	N/A	N/A	142	142
Sugarcane	N/A	N/A	N/A	0.25 ^a	713	0.1 ^a	866	0.3 ^a	N/A	N/A	2079	2 079
Other	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	558	N/A	12 527			12 527
Total		72 084	74 505		75 087		72 911		73 153		11 030	84 183

Wang *et al.*^[4]

Li *et al.*^[7]

Zhang *et al.*^[5]

Bi *et al.*^[1]

R/G: Residue/Grain ratio; Literature cited for R/G: ^a unmarked or unclear; ^b MOA/DOE^[11]; ^c Agricultural Technology Economic Manual Editorial Board^[13].

表 4 2006–2007 年中国作物秸秆资源量的评估 (秸秆量单位: 万吨)

Table 4 China's crop residues quantity during 2006–2007 (Residue quantity unit: 10⁴ ton)

Crop	R/G	Field residue		R/G	Field residue		PRI	Process residue		Crop residue	
		2006			2006	2006–2007		2006–2007	2006–2007		
Rice	0.68 ^a	12 500		1 ^a	18 260	18 520	0.23 ^e	4 340		22 856	
Maize	1.25 ^a	18 200		2 ^b	29 100	13 639	0.15 ^f	223		15 870	
Wheat	0.73 ^c	7 600		1.1 ^c	11 490	13 236				13 236	
Other cereal	N/A	N/A		1.5 ^a	1 580	N/A					
Sorghum	N/A	N/A		2 ^a	340	N/A					
Millet	N/A	N/A		1.6 ^a	280	51				51	
Bean	N/A	N/A		1.6 ^a	3 370	N/A					
Soy	N/A	N/A		N/A	N/A	1505				1 505	
Tuber	N/A	N/A		0.5 ^a	2 720	N/A					
Potato	N/A	N/A		N/A	N/A	1039				1 039	
Oil crop	N/A	N/A		2 ^a	6 630	N/A					
Peanut	N/A	N/A		1.5 ^a	2 200	1144	0.275 ^g	30		1 444	
Sesame	N/A	N/A		3 ^a	200	N/A					
Benne	N/A	N/A		2 ^a	70	N/A					
Sunflower	N/A	N/A		2 ^a	360	240	N/A	N/A		240	
Canola	1.01 ^a	1 300		3 ^a	3 800	3 002				3 002	
Cotton	5.51 ^a	3 700		3 ^b	2 020	3 029	0.48 ^h	54		3 565	
Bast fiber crop	N/A	N/A		1.7 ^a	150	N/A				N/A	
Sugar crop	N/A	N/A		0.1 ^a	1110	N/A	N/A	N/A		N/A	
Sugarbeet	N/A	N/A		0.1 ^a	78	N/A	N/A	N/A		N/A	
Sugarcane	N/A	N/A		0.1 ^a	1 000	658	0.06 ⁱ	131		1 966	
Banana	N/A	N/A		N/A	N/A	097				97	
Tobacco	N/A	N/A		1 ^a	290	168				168	
Other	N/A	N/A		N/A	N/A	9 052				9 052	
Total		43 300			76 200	65 381		871		74 092	
		Cui <i>et al</i> ^[2]			Gao <i>et al</i> ^[3]			Wang <i>et al</i> (unpublished)			

R/G: Residue/Grain ratio; PRI: process residues index; literature cited for R/G and PRI: ^a unmarked or unclear; ^b MOA/DOE^[11]; ^c Estimate data of harvest index dated from 2005 to 2009 based on Province or Region^[12,15]; ^d Jia XL *et al*^[16]; ^e China National Standard: Rice Quality (GB/T 17891-1999); ^f Evaluated by the authors who took samples; ^g China Agricultural Standard: Peanut for Edible Oil (NY/T 1068-2006); ^h Zheng *et al.* (2009)^[17]; ⁱ Ratio of leaves and tops air-dried weight to fresh stem product weight^[1].

崔明等^[2]和高利伟等^[3]报道了中国对 2006 年作物田间秸秆量评估研究结果, 虽然他们也称之为作物秸秆量, 但未包括作物加工副产物 (表 4)。崔明等^[2]对 2006 年中国水稻、玉米、小麦、油菜和棉花 5 大作物田间秸秆量评估为 4.3 亿 t, 虽然其玉米、油菜和棉花的草谷比取值和大多数的研究相比更为合理, 但是小麦和水稻草谷比取值 (分别 0.73、0.68) 过低, 低估了作物的田间秸秆量。高利伟等^[3]对 2006 年田间秸秆量评估结果为 7.6 亿 t, 尽管没有包括作物加工副产物, 该研究对田间秸秆的评估所选的作物对象齐全, 其草谷比的取值也更为趋于合理。但

是, 对玉米的草谷比仍取值为 2, 由于玉米是我国最大作物之一, 这样必然过高评估了中国田间秸秆资源量。王晓玉等 (未发表) 的研究结果是本文作者对 2006 和 2007 年的大田秸秆资源量平均值评估, 其结果为秸秆资源量为 7.4 亿 t, 包括 6.5 亿 t 的田间秸秆和 0.9 亿 t 的作物加工副产物 (表 4)。王晓玉等 (未发表) 的研究以查阅 (或地区) 2005–2009 年测定的各省不同作物的收获指数, 不同省区以本地的当前作物收获指数计算作物秸秆量。在作物选择上采用了完全统计方法, 计算的过程中严格应用作物生产学的概念, 按本文所述的方法, 分别计算了

各作物的田间秸秆量和加工副产物量,是迄今为止以相对可靠方法评估得到相对准确的研究,将于近期另文详细报道。

4 中国秸秆资源的分布

4.1 秸秆的作物种类分布

根据以上 1991–1999 年秸秆资源量的评估研究,水稻、小麦和玉米 3 大作物秸秆量占总量的 76%~83%。2000–2006 年秸秆资源总量中,这 3 大作物秸秆量的比例为 60%~89%。与 1991–1999 年相比,这个范围明显过大。其原因当然有作物产业布局和产量随年度的变化,我们认为更主要是进入 21 世纪后研究秸秆资源的报道显著增多,而研究者选取的作物对象差异更大导致 3 大作物占秸秆总量的比变化更大。例如,毕于运等^[1]的研究除包括所有大田作物田间秸秆和加工副产物外,还包括药材、蔬菜和其他作物秸秆,该研究结果表明水稻、小麦和玉米 3 大作物秸秆量占总量的 60%,王晓玉等(未发表)对中国大田作物田间秸秆量进行了完全统计研究,也包括了水稻、玉米、棉花和甘蔗的加工副产物,但不包括药材、蔬菜和其他作物,这 3 大作物秸秆量占总量的 70%。其余的研究都是以大田作物为对象,均未将加工副产物计入秸秆总量,则 3 大作物秸秆量占总量的范围为 76%~89%。其中崔明等^[2]选取作物种类较少,选择的大田作物只包含 5 类,分别是水稻、小麦、玉米、油菜和棉花,该研究结果表明 3 大作物秸秆量占总量的 89%,因此研

究对象选择的种类是造成作物秸秆量差异的主要原因之一。

4.2 秸秆的地区分布

中国地域宽广,因不同地区农业气候、种植制度和社会经济条件不同,作物种类变化很大,因此,各地区的作物秸秆种类分布不同。MOA/DOE^[11]和钟华平等^[8]分别研究了中国 1995 年和 1998 年田间秸秆在各省的分布,韩鲁佳等^[9]将全国分为华北、东北、华东、中南和西北 5 个地区研究了 1999 年田间秸秆的分布。汪海波等^[4]和高利伟等^[3]分别研究了 2004 年和 2006 年田间秸秆在各省的分布。毕于运等^[1]研究了 2005 年中国田间秸秆和作物加工副产物地区的分布,将秸秆分布区分为东北区、黄淮海区、长江中下游区、华南区、西南区、西北区和青藏区 7 个区域。

王晓玉等(未发表)的研究也以东北区、华北区、华东区、华中区、华南区、西南区、西北区和青藏区等 8 个区域分析了中国秸秆地区分布特点(表 5)。主要结果为,我国作物秸秆主要分布于华北、华中、华东和东北地区,其中黑龙江、河北、河南、山东、江苏、湖南和四川 7 个省是我国农作物秸秆分布的主要地区,均超过 3 000 万 t。稻秸是秸秆资源中占有比例最大的,约占总秸秆量的 30.4%,主要分布在华中地区(如湖南、湖北等)和华东地区(如江苏、浙江、安徽等);其次是玉米秸秆,约占总秸秆量的 21.1%,主要分布于东北和华北地区的各省份以及华东和华中的部分省份;小麦秸秆产量为

表 5 中国 2006–2007 年平均秸秆资源量及不同地区分布(秸秆量单位:万吨)

Table 5 China's crop residues quantity and characteristics of regional distribution between 2006–2007 (Residue quantity unit: 10⁴ ton)

Region	Feild residue		Process residue		Crop residue	
	Average value	Percent of the total (%)	Average value	Percent of the total (%)	Average value	Percent of the total (%)
Northeast	71.77	11.0	11.960	13.730	83.73	11.3
Northwest	74.77	11.4	5.820	6.682	80.59	10.9
North China	163.49	25.0	13.620	15.636	177.11	23.9
East China	90.26	13.8	10.220	11.733	100.48	13.6
Centre China	96.65	14.8	15.980	18.346	112.64	15.2
South China	50.39	7.7	18.410	21.136	68.80	9.2
Southwest	102.23	15.6	11.090	12.732	113.32	15.3
Qing-Tibet	4.25	0.7	0.004	0.005	4.25	0.6
Total	653.81	100.0	87.104	100.000	740.92	100.0

农作物秸秆量的第3位, 约占17.9%, 主要分布于华北地区(如山东、河南等)、华东地区(如江苏、安徽等)。中国北方地处温带, 主要种植作物是小麦、玉米; 我国南方地处热带、亚热带, 水稻是该地区最重要的作物品种; 而西藏处于高寒地区, 最主要的作物是棉花、青稞。

5 秸秆资源评估研究存在的主要问题

5.1 作物秸秆的概念不明确

由于以前研究者对作物秸秆概念和分类没有统一的认识, 研究对象或范围不一致, 导致对中国秸秆资源评估结果的较大差异。虽然前人文献中都称研究“作物秸秆”, 但是秸秆涵盖的范围不同, 多数研究以大田作物的“田间秸秆”作为中国秸秆资源, 有的研究对象中大田作物的种类也不完全, 都没有将稻壳、玉米芯和甜菜渣等作物加工副产物包括在内。仅毕于运等^[1]和王晓玉等(未发表)分别估算了2005年大田作物秸秆和2006–2007年大田作物、园艺作物及其他作物秸秆资源量。对作物秸秆评估不一定要包括所有作物, 但是对评估结果的报道要指明其准确的作物种类范围。最后, 花生和薯类等作物在收获时拔出一定量的根也应属于田间秸秆, 前人对秸秆的评估所道均未计入, 因为以草谷比计算得到的只是地上部田间秸秆。

5.2 草谷比取值差异大

在作物种类相同和计算方法正确时, 估算秸秆产量的准确性则唯一取决于草谷比是否准确。前人评估秸秆文献的草谷比取值差异非常大(表1~4), 以中国3大作物之一水稻为例, 有约占一半的研究者将草谷比取值为0.62或0.68, 其余研究者取值在0.9~1.1之间, 草谷比的差异导致水稻的秸秆量就会相差0.8亿t之多。再如玉米的草谷比有1.2、1.37和2三种取值, 小麦草谷比多数取值为1.4, 也有取值为0.73的。三大作物以外的作物草谷比取值差异更大, 如棉花的草谷比多研究者取值为3, 也有取值为5.5或9的。甘蔗和麻类的草谷比的取值差异也较大。即使相对于同一年的草谷比, 各位专家学者的估算量也可以说相差很大。而且, 研究者大都没有对草谷比的取值作出明确的解释, 使人无从

判断其合理性。对草谷比取值的差异导致了资源量评估值的差异。即便是不同研究者之间对全国秸秆总量评估值相近, 但有的对玉米草谷比取值偏高, 小麦玉米草谷比取值偏低, 而另一研究者却相反, 对玉米取值偏低, 对小麦取值偏高, 其结果是作物秸秆类型分布差异大。因此, 要正确评估中国作物秸秆资源量及其分布, 必须要获得最接近作物生产实际的草谷比。

5.3 草谷比的取值不符合当前作物生产现状

影响作物草谷比首要的因素是品种改良, 随着作物新品种的选育更新, 从过去到现在总的来说应是不断下降的。最为显著的例子是玉米, 20年前玉米虽然也是3大作物之一, 但由于不属主粮而称杂粮, 育种和栽培都未受重视, 其草谷比较高, 甚至高达2都是可能的。但是, 在我国主要作物中, 玉米是二、三十年以来品种改良和生产水平提高幅度最大的作物, 到21世纪, 玉米生产的草谷比取值要远远低于2了。因此, 对各种作物秸秆量的评估, 都应取当前生产中主栽品种的草谷比。虽然作物草谷比是随时间因品种改良而变化的, 但在一定短期时间是相对稳定的, 应以10年期限合适。影响作物草谷比的另一个重要因素是栽培环境, 对于评估秸秆资源量来说, 这一因素集中体现于各地区的土壤、气候以及耕作制度和栽培条件的不同, 引起不同地区同一作物草谷比不同。以往的研究报道同作物以同一个草谷比来估算全国各地的秸秆资源量, 必然会导致较大误差。本文作者已查阅了2005–2009年测定的作物在其主要生产省的收获指数, 将换算为草谷比于近期另文发表。

5.4 对于农作物产量的统计指标和产量构成认识不清楚

研究者首先要明确作物产量统计指标是指干重还是鲜重, 从而通过计算保证对秸秆量的评估值是干重。中国作物产量统计数据中, 籽粒产量均为风干重, 薯类作物是折粮重量, 即1964年以后按每5kg鲜薯折1kg粮食计算, 因此其产量也相当于风干重, 花生产量为带壳的花生果风干重, 甘蔗、甜菜、蔬菜和香蕉等作物产量则是鲜重。干重产量可直接计算秸秆量, 鲜重产量则应乘以折干率(即1–

含水率) 换算为风干重。其次, 要明确作物产量是指作物的哪一部分, 如棉花产量有皮棉和籽棉之分, 我国统计棉花产量多数是指皮棉产量, 对于子棉产量要乘以衣分换算为皮棉产量。而且, 要注意以草谷比和皮棉相乘获得的值不是棉花田间秸秆量, 因为其中含有棉籽, 减除棉籽产量后的量才是棉花田间秸秆量。又如, 因为玉米产量统计中不包括玉米芯, 玉米以草谷比计算得到的应是田间秸秆和加工副产物之和。

REFERENCES

- [1] Bi YY, Wang DL, Gao CY, *et al.* Straw Resources Evaluation and Utilization in China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008.
毕于运, 王道龙, 高春雨, 等. 中国秸秆资源评价与利用. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- [2] Cui M, Zhao LX, Tian YS, *et al.* Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2008, **12**(24): 291–295.
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. 农业工程学报, 2008, **12**(24): 291–295.
- [3] Gao LW, Ma L, Zhang WF, *et al.* Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization situation in China. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2009, **25**(7): 173–179.
高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况. 农业工程学报, 2009, **25**(7): 173–179.
- [4] Wang HB, Zhang RC. Utilization, distribution and exploitation tactics of crop stalk resources in China. *J Shandong Agri Adm*, 2007, **23**(2): 164–165.
汪海波, 章瑞春. 我国农作物秸秆资源的分布、利用与开发策略. 山东省农业管理干部学院学报, 2007, **23**(2): 164–165.
- [5] Zhang PD, Yang YL, Li GQ, *et al.* Energy potentiality of crop straw resources in China. *Renew Energy Resource*, 2007, **25**(6): 80–83.
张培栋, 杨艳丽, 李光全, 等. 中国农作物秸秆能源化潜力估算. 可再生能源, 2007, **25**(6): 80–83.
- [6] Cao GL, Zhang XY, Zheng FC, *et al.* Estimating the quantity of crop residues burnt in open field in China. *Resources Sci*, 2006, **28**(1): 9–13.
曹国良, 张小曳, 郑方成, 等. 中国区域农田秸秆露天焚烧排放量的估算. 资源科学, 2006, **28**(1): 9–13.
- [7] Li JF, Hu RQ, Song YQ, *et al.* Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in China. *Biomass Bioenerg*, 2005, **29**: 167–177.
- [8] Zhong HP, Yue YZ, Fan JW. Characteristics of crop straw resources in China and its utilization. *Resources Sci*, 2003, **25**(4): 62–67.
钟华平, 岳燕珍, 樊江文. 中国作物秸秆资源及其利用. 资源科学, 2003, **25**(4): 62–67.
- [9] Han LJ, Yan QJ, Liu XY, *et al.* Straw resources and their utilization in China. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2002, **18**(3): 87–91.
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. 农业工程学报, 2002, **18**(3): 87–91.
- [10] Chinese Agriculture Development. Chinese Agriculture Development Strategy in the Beginning of 21st Century. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000.
- [11] MOA/DOE Project Expert Team. Assessment of Biomass Resources Availability in China. Beijing: China Environment Science Press, 1998.
中国农业部/美国能源部. 中国生物质资源可获得性评价. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [12] Gao XZ, Ma WQ, Ma CB, *et al.* Analysis on the current status of utilization of crop straw in China. *J Huazhong Agri Univ*, 2002, **21**(3): 242–247.
高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状. 华中农业大学学报, 2002, **21**(3): 242–247.
- [13] Agricultural Technology Economic Manual Editorial Board. Agricultural Technology Economic Manual (Revised Edition). Beijing: China Agriculture Press, 1993.
《农业技术经济手册》编委会. 农业技术经济手册 (修订本). 北京: 中国农业出版社, 1993.
- [14] China Association of Rural Energy Industry. China Association of Rural Energy Industry Data, 2000.
中国农村能源行业协会. 中国农村能源行业协会数据 (CAREI), 2000.
- [15] Shi YC. China Renewable Energy Development Strategic Research. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
石元春主编. 中国可再生能源发展战略研究丛书生物质能源卷. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [16] Jia XL, Cheng LZ. Resources survey on power generation by direct stalks burning. *Solar Energ*, 2006(2): 8–15.
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. 太阳能, 2006(2): 8–15.
- [17] Zheng XJ, Zhou JL, Luo P. Summary of deep processing and comprehensive utilization of cottonseed. *Anhui Agri Sci Bull*, 2009, **15**(11): 55–57.
郑晓吉, 周金玲, 罗鹏. 综述棉籽的深加工及综合利用. 安徽农学通报, 2009, **15**(11): 55–57.