

中国各省大田作物田间秸秆资源量及其时间分布

韦茂贵 王晓玉 谢光辉*

(中国农业大学 农学与生物技术学院/国家能源非粮生物质原料研发中心,北京 100193)

摘要 准确评估中国秸秆资源量及其时空分布对秸秆资源化利用具有重要意义。本研究采用各省市区不同作物的最新田间秸秆系数评估田间秸秆资源量,确定各作物秸秆热值合理取值折算标煤量,并依据中国主要大田作物田间秸秆成熟期,对各省各作物田间秸秆的时间分布进行研究。结果表明:2007—2009年中国年均秸秆量为7.35亿t,包括田间秸秆6.46亿t(折标煤量3.41亿t,占总量87.36%)和加工副产物0.89亿t(折标煤量0.50亿t,占总量12.64%)。三大粮食作物是田间秸秆的主要来源,其中水稻田间秸秆为19865.13万t,折标煤9177.69万t,占总量26.90%;玉米田间秸秆为14947.83万t,折标煤量8266.15万t,占总量24.23%;小麦田间秸秆为14373.43万t,折标煤7833.52万t,占总量22.96%。秸秆量最大的10个省份由高到低依次为河南、山东、江苏、黑龙江、安徽、四川、广西、湖南、河北、湖北,变化范围为3772.15~7295.06万t,折标煤为1908.83~3999.61万t,这10省总量占全国总量62.46%。田间秸秆成熟时间分布不均,第三季度(7—9月)最多,秸秆折标煤占总量44.49%;其次为第四(10—12月)和第二季度(4—6月),分别为25.26%和24.27%;第一季度(1—3月)最少,只占总量的1.37%。

关键词 生物质; 田间秸秆; 加工副产物; 折标煤量; 时空分布

中图分类号 S216.2;S51

文章编号 1007-4333(2012)06-0032-13

文献标志码 A

Field residue of field crops and its temporal distribution among thirty-one provinces of China

WEI Mao-gui, WANG Xiao-yu, XIE Guang-hui*

(College of Agronomy and Biotechnology/National Energy R&D Center for Non-food Biomass,

China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To accurately assess the quantity and spatio-temporal distribution of crop residues is essentially important for its sustainable utilization in China. The residue quantities of all the field crops among 31 provinces in mainland China were evaluated by using the latest crop residue index(CRI) based on different province or region. The residue quantities were calculated as standard coal equivalence(SCE) according to the heating value of each crop residue from original papers. During 2007 and 2009 in China, the annual crop residue production was estimated as 735 Mt which was composed of 646 Mt field residues(341 Mt SCE, 87.36% SCE) and 89 Mt process residues(50 Mt SCE, 12.64% SCE) based on air dried weight. The field residue of cereal crops was evaluated to be 492 Mt(253 Mt SCE) annually, accounting for 74.10%(SCE) of the total field residue, which was including three main crops, i. e. rice residue weight 198.65 Mt (91.78 Mt SCE, 26.90% SCE), maize residue weight 149.48 Mt (82.66 Mt SCE, 24.23% SCE) and wheat residue weight 143.73 Mt (78.34 Mt SCE, 22.96% SCE), respectively. Changes in crop residue quantity was varied from 37.72 Mt (19.08 Mt SCE) in Hubei to 72.95 Mt (40.00 Mt SCE) in Henan province, and the top ten provinces were Henan, Shandong, Jiangsu, Heilongjiang, Anhui, Sichuan, Guangxi, Hunan, Hebei and Hubei. Moreover, the highest field residue quantity was harvested between July and September, accounting for 44.49% (SCE) of crop residues; and only 1.37% (SCE) between January and March.

Key words biomass; field residue; process residue; standard coal equivalence; spatio-temporal distribution

收稿日期: 2012-06-27

基金项目: 国家能源局能源节约和科技装备司项目(科技司函[2012]32号)

第一作者: 韦茂贵, 博士研究生, E-mail: weimaogui0806@163.com

通讯作者: 谢光辉, 教授, 主要从事非粮生物质原料研究, E-mail: xiegh@cau.edu.cn

中国农作物秸秆总量巨大,是重要的可再生资源,近年来受到广泛关注。田宜水等^[1]就评估秸秆理论资源量、可收集资源量和可利用资源量三个层次,提出了包含农作物秸秆特性、经济性、有效收集时间、密度、人均占有量和资源量等方面的秸秆资源评价指标体系,对中国秸秆资源的调查与评价具有重要的指导意义。目前,对田间秸秆理论资源量的评估,多采用秸秆系数法,但田间秸秆系数取值差异大,如水稻田间秸秆系数取值少部分为0.6~0.78^[2-5],大部分为0.9^[6-7]~1.25^[10-15];小麦田间秸秆系数较低取值的有0.73^[4-5]或1.0^[6-7,9-15],较高取值有1.4^[2-3,8];玉米田间秸秆系数取值差异大,较低有0.9^[9]~1.3^[4,6-7,9,15],最高达2.0^[2-3,8,10-14]。另一不足之处是同一作物秸秆系数在全国各省的取值相同,导致评估结果差异大,个别省份相差上千万吨,全国超过上亿吨,尚难获得普遍认可。田间秸秆系数受品种改良影响较大,应随新品种的应用适时更新;栽培环境是影响秸秆系数的另一重要因素,体现在各地气候、土壤、耕作制度和生产技术水平的不同,均可引起秸秆系数空间上的差异^[15]。谢光辉等依据2006—2010年正式发表文献的田间实测数据,研究了中国各省市区禾谷类^[16]和非禾谷类^[17]大田作物的田间秸秆系数取值,王晓玉等^[18]进而确定了最为接近实际的最新的各省各类大田作物在中国大陆各省份的田间秸秆系数取值。除田间秸秆外,作物秸秆还包括加工副产物,即作物初级加工过程产生的剩余物,有稻壳、玉米芯、花生壳、棉花壳、甘蔗渣、甜菜渣等,不包括麦麸、谷糠等其他精细加工副产物^[15]。郭利磊等^[19]确定了中国主要作物加工副产物系数及其折标煤系数取值,准确评估了2007—2009年年均稻壳、玉米芯、花生壳、棉籽壳、甘蔗渣和甜菜渣产量,引用其结果可计算2007—2009年中国大田作物年均秸秆总量。

目前田间秸秆时间分布研究主要是利用卫星遥感技术获得秸秆焚烧着火点分布的情况来确定中国各地剩余秸秆的分布^[20]。韦茂贵等^[21]提出了田间秸秆成熟期的概念,即在作物主产品成熟至收获一段时间内,茎叶的化学成分尚未转化,呈现其固有状态,达到收集利用的最适宜时期。利用田间秸秆成熟期能准确反映秸秆资源的时间分布。

将秸秆量转化成标煤量可使秸秆时空分布评估更具可比性。查阅相关文献时发现,不同秸秆的热值差异大,其合理取值对秸秆总能值的估算起重要

作用。目前,普遍被大家认可的秸秆热值是14.50~15.00 MJ/kg,取值范围差异也较大。另外,涉及计算秸秆折标煤量的文献较少,其中宏观战略性研究的文献1篇^[22]和农林动废弃物资源量评估1篇^[23],折标煤量均属定性研究,其使用的热值及转换系数参考样本量少。因此,各作物秸秆热值的合理取值更能准确反映秸秆资源量。

综上,本研究利用2007—2009年作物产量统计数据 and 最新各省大田作物秸秆系数^[18]计算中国大田作物年均田间秸秆资源量,加上加工副产物计算出秸秆总量,并研究秸秆在各省的空间分布;依据主要作物田间秸秆成熟期^[21],研究主要作物田间秸秆在各省的时间分布;广泛收集各作物热值研究的原创性文献,确定合理的秸秆热值取值,进而确定秸秆折标煤量,得出大田作物秸秆总能值。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究以国家发布的2007—2009年各省大田作物及其产量数据^[24-26]为依据,作物类型包含水稻、小麦、玉米、其他谷类、豆类、薯类、棉花、花生、油菜、芝麻、其他油料作物、黄红麻、其他麻类、甘蔗、甜菜和烟叶等16类。各省各作物的大田秸秆系数^[18]、加工副产物量及其折标煤量^[19]、主要作物田间秸秆成熟期^[21]直接引用前人研究结果。

热值也就是热当量,指单位重量(或单位体积)的燃料完全燃烧,燃烧产物冷却到燃烧前的温度时所释放出来的热量,有高位热值(gross calorific value/higher heating value)和低位热值(net heating value/lower heating value)之分^[27-28]。二者的根本区别在于是否包含燃料燃烧产物中水蒸汽冷凝放出的热量,其中低位热值是燃烧产物中水为气态时的热值,高位热值为低位热值与水蒸气冷凝放出的热量之和^[27-29]。各作物田间秸秆热值主要通过查阅相关论文及其他文献^[30-43]获得(表1)。各种田间秸秆均为风干基,含水量不完全一致,燃烧过程中水蒸气冷凝放出的热量尚无法准确统计,因此,选择秸秆燃烧的热值和折标煤转换系数时遵循以下原则:其一,对同一文献中同时出现高位热值和低位热值的,取低位热值;其二,为扩大样本量,对文献中只出现高位热值时,若低于其他文献的低位热值时采用,反之则不采用;其三,对文献中只出现能量含量或热值时,若低于其他文献的低位热值时采用,反之则不采

表1 大田作物秸秆热值和折标煤转换系数

Table 1 Heating value and ratio for computing into standard coal of field crops

作物	样本数	热值/(MJ/kg)		转换系数		数据来源
		取值范围	加权平均值	取值范围	加权平均值	
标准煤	—	—	29.3 076	—	—	
水稻	8	11.70~16.70	13.54	0.399~0.570	0.462	[30-37]
小麦	8	12.00~20.30	15.97	0.409~0.693	0.545	[31,33-39]
玉米	9	13.00~18.50	16.20	0.444~0.631	0.553	[30,31,33-37,39-40]
其他谷物	13	12.00~17.50	15.96	0.409~0.597	0.545	[30,31,33-37,39-40]
豆类	6	15.90~25.03	19.08	0.543~0.854	0.651	[31,33,35-37,41]
薯类	4	6.00~15.70	12.65	0.205~0.536	0.432	[33-34,39]
棉花	4	15.90~22.02	18.30	0.543~0.751	0.624	[31,33,41-42]
花生	3	15.49~16.00	15.83	0.529~0.546	0.541	[33-34,37]
油菜	3	15.49~22.05	17.87	0.529~0.752	0.610	[33,39,41]
芝麻	1	15.49	15.49	0.529	0.529	[33]
其他油料作物	5	14.20~21.32	17.11	0.485~0.727	0.584	[31,33,38,41,43]
黄红麻	2	16.00~19.03	17.51	0.546~0.649	0.600	[37,42]
其他纤维作物	1	16.00	16.00	0.546	0.546	[37]
甘蔗	4	12.92~16.00	14.47	0.441~0.546	0.494	[30,33,35,43]
甜菜	1	6.00	6.00	0.205	0.205	[34]
烟草	1	16.10	16.10	0.549	0.549	[31]
平均	71	6.00~25.03	15.46	0.205~0.854	0.528	[30-43]

用;其四,对同一秸秆热值相同的文献,仅列举最新的文献。标准煤热值取值为 29.3076 MJ/kg^[44]。

1.2 计算方法

1.2.1 秸秆量计算

作物田间秸秆为收获主产品之后所有剩余的地上部分产物^[15]。根据国家发布的 2007—2009 年作物经济产量数据,通过田间秸秆产量估算公式(1),计算田间秸秆年均产量;其中甘蔗、甜菜等在统计年鉴中以鲜重统计经济产量,甘蔗茎秆按照 70%^[45-46]、甜菜块根按照 75%的含水量^[47-49]换算成干重经济产量,按公式(2)计算田间秸秆量,按公式(3)计算秸秆产量。各作物田间秸秆系数及加工副产物系数均在风干重基础上获得,所获得作物秸秆量均为风干重(含水量约为 15%)。

$$\text{田间秸秆产量} = \text{经济产量} \times \text{秸秆系数} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{甘蔗和甜菜田间秸秆产量} = \\ & \text{经济产量} (100 - \text{含水量}) / 100 \times \text{秸秆系数} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\text{秸秆产量} = \text{田间秸秆} + \text{加工副产物} \quad (3)$$

1.2.2 田间秸秆折标煤量计算

将收集到的各作物田间秸秆热值或折标煤系数

分别求出平均值,根据标煤的热值计算折标煤转换系数。秸秆折标准煤转换系数和折标准煤量均按公式(4)和(5)计算。

$$\text{转换系数} = \text{田间秸秆热值} \div \text{标准煤热值} \quad (4)$$

$$\text{折标煤量} = \text{田间秸秆量} \times \text{转换系数} \quad (5)$$

1.2.3 田间秸秆时空分布

大田作物秸秆资源的时间分布依据秸秆成熟期按季度划分,1月1日至3月31日为第一季度,4月1日至6月30日为第二季度,7月1日至9月30日为第三季度,10月1日至12月31日为第四季度。对跨季度成熟的田间秸秆,根据成熟期天数,求日均成熟田间秸秆量分到相应季度中。对于跨区划的各省,作物田间秸秆成熟期为其所在省份所处区划成熟期的总和。某些省份某些作物田间秸秆成熟期无法直接收集到的,本研究将参照其地理位置与田间秸秆量最为相近的省份数据,即重庆水稻田间秸秆参照云南的数据,海南和重庆玉米田间秸秆分别参照广西和贵州的数据,上海和西藏大豆田间秸秆分别参照浙江和青海的数据,天津花生田间秸秆参照河北的数据。“其他谷类”、“其他油料作物”和“其他

麻类”包含的作物多且地域分布不均,田间秸秆量比重小,时间分布研究未包含这部分作物。

2 结果与分析

2.1 各种田间秸秆折标煤转换系数取值

本研究共收集到田间秸秆热值或折标煤系数样本71个(表1),热值范围为6.00~25.03 MJ/kg,样本均值超过16.70 MJ/kg的作物有豆类、棉花、油菜、黄红麻和其他油料作物,大部分作物热值处于12.50~16.70 MJ/kg范围,最低为甜菜田间秸秆热值6.00 MJ/kg。粮食作物可收集的样本较多,其中谷物类的样本有38个。水稻、小麦和玉米收集的样本均有8个或以上,样本量少于3个的作物占田间秸秆总量比重较小,所获得的折标煤系数较合理。由于各作物田间秸秆资源量差异较大,依据作物田间秸秆占田间秸秆总量比重加权计算,中国田间秸秆平均热值为15.46 MJ/kg,平均折标煤转换系数

为0.528。水稻、小麦和玉米田间秸秆折标煤转换系数分别为0.462、0.545和0.553。

2.2 全国秸秆总量及其主要种类

2007—2009年中国秸秆量年均均为7.35亿t,折标煤3.90亿t,其中田间秸秆6.46亿t,折标煤占全国总量的87.31%;加工副产物0.89亿t,折标煤占全国总量的12.64%(表2)。其中水稻秸秆包括19865.13万t田间秸秆和3438.20万t稻壳,折标煤占全国秸秆总量27.82%;玉米秸秆包括14947.83万t田间秸秆和2571.67万t玉米芯,折标煤占全国秸秆总量25.12%;小麦没有加工副产物,田间秸秆量即为其秸秆量,达14373.43万t,折标煤占全国秸秆总量20.06%。水稻、小麦和玉米田间秸秆总量为4.92亿t,折标煤占全国田间秸秆总量74.10%;加上稻壳和玉米芯,三大粮食作物秸秆总量为5.52亿t,折标煤占全国秸秆总量73.00%。

表2 2007—2009年中国大田作物年均秸秆量及折标煤量

Table 2 Annual estimate of residue and its standard coal equivalence of field crops in China during 2007—2009

作物类型	秸秆量/ 万 t	折标煤量		作物类型	秸秆量/ 万 t	折标煤量	
		万 t	%			万 t	%
中国总计	73 487.80	39 046.18	100.00	花生	1 764.90	973.34	2.49
田间秸秆	64 625.77	34 112.25	87.36	田间秸秆	1 386.71	750.21	1.92
加工副产物	8 862.03	4 933.93	12.64	花生壳*	378.19	223.13	0.57
水稻	23 303.33	10 862.41	27.82	油菜	3 512.03	2 142.34	5.49
田间秸秆	19 865.13	9 177.69	23.50	芝麻	111.23	58.84	0.15
稻壳*	3 438.20	1 684.72	4.31	其他油料作物	582.11	339.95	0.87
小麦	14 373.43	7 833.52	20.06	黄红麻	14.92	8.95	0.02
玉米	17 519.50	9 834.87	25.12	其他纤维作物	323.67	176.72	0.45
田间秸秆	14 947.83	8 266.15	21.17	甘蔗	3 080.15	1 720.99	4.41
玉米芯*	2 571.67	1 543.00	3.95	田间秸秆	1 199.14	592.38	1.52
其他谷类	1 876.32	1 022.59	2.62	甘蔗渣*	1 881.01	1 128.61	2.89
豆类	2 562.16	1 670.53	4.28	甜菜	124.23	41.38	0.11
薯类	1 551.75	670.36	1.72	田间秸秆	80.64	16.53	0.04
棉花	2 605.46	1 614.68	4.14	甜菜渣*	43.59	24.85	0.06
田间秸秆	2 056.09	1 285.06	3.29	烟草	182.59	100.42	0.26
棉籽壳*	549.37	329.62	0.84				

注：* 加工副产物包含稻壳、玉米芯、花生壳、棉籽壳、甘蔗渣和甜菜渣,引自郭利磊等^[19]。

除水稻、玉米和小麦外,秸秆折标煤量超过1 000万t的作物有油菜、甘蔗、豆类、棉花和其他谷

类。除去其他谷类,7个作物秸秆折标煤量占全国总量91.32%。芝麻、甜菜及黄红麻的秸秆量较少

(表2)。

2.3 秸秆的空间分布

中国31个省市自治区2007—2009年年均秸秆产量范围为130.18~7 295.06万t(表3)。现将年均秸秆

产量超过3 500万t的省份划分为高产地区,从高到低为河南、山东、江苏、黑龙江、安徽、四川、广西、湖南、河北和湖北,各省产量范围为3 640.08~7 295.06万t,10省秸秆折标煤总量占全国秸秆折标

表3 2007—2009年中国31个省市自治区田间秸秆总量及其折标煤量

Table 3 Annual estimate of residue and its standard coal equivalence of field crops in 31 provinces of China during 2007—2009

区域	秸秆量/ 万 t	折标煤量		加工副产物* / 万 t	折标煤量		秸秆量/ 万 t	折标煤量	
		万 t	占比/%		万 t	占比/%		万 t	占比/%
中国	64 625.77	34 112.25	87.36	8 862.03	4 933.93	12.64	73 487.80	39 046.18	100.00
北京	117.61	64.85	89.60	12.57	7.53	10.40	130.18	72.38	0.19
天津	172.46	95.33	88.87	20.24	11.94	11.13	192.70	107.27	0.27
河北	3 369.91	1 858.06	92.00	271.78	161.59	8.00	3 641.69	2 019.65	5.17
山西	1 161.99	644.34	91.35	101.79	61.03	8.65	1 263.78	705.37	1.81
内蒙古	2 633.39	1 460.60	92.00	214.09	127.03	8.00	2 847.48	1 587.63	4.07
辽宁	1 770.60	931.97	86.79	252.44	141.89	13.21	2 023.04	1 073.86	2.75
吉林	2 659.15	1 432.85	86.70	383.08	219.88	13.30	3 042.23	1 652.73	4.23
黑龙江	4 210.64	2 255.34	87.99	560.56	307.92	12.01	4 771.20	2 563.26	6.56
上海	158.99	78.25	89.89	17.76	8.80	10.11	176.75	87.05	0.22
江苏	4 606.13	2 370.24	92.76	360.58	184.95	7.24	4 966.71	2 555.19	6.54
浙江	953.79	471.31	86.84	141.90	71.44	13.16	1 095.69	542.75	1.39
安徽	3 949.05	2 083.78	91.53	369.65	192.72	8.47	4 318.70	2 276.50	5.83
福建	730.95	345.77	85.45	115.94	58.87	14.55	846.89	404.64	1.04
江西	2 260.13	1 086.50	84.45	401.80	200.10	15.55	2 661.93	1 286.60	3.30
山东	5 218.07	2 862.05	91.74	434.39	257.60	8.26	5 652.46	3 119.65	7.99
河南	6 868.50	3 753.02	93.83	426.56	246.59	6.17	7 295.06	3 999.61	10.24
湖北	3 228.73	1 695.99	88.85	411.35	212.84	11.15	3 640.08	1 908.83	4.89
湖南	3 257.48	1 600.29	86.07	514.67	259.03	13.93	3 772.15	1 859.32	4.76
广东	1 519.15	722.44	75.07	438.16	239.87	24.93	1 957.31	962.31	2.46
广西	2 332.50	1 129.75	56.03	1 516.76	886.51	43.97	3 849.26	2 016.26	5.16
海南	256.25	121.22	66.53	106.88	60.98	33.47	363.13	182.20	0.47
重庆	1 037.73	524.69	86.94	149.17	78.81	13.06	1 186.90	603.50	1.55
四川	3 517.41	1 839.59	88.93	433.46	229.01	11.07	3 950.87	2 068.60	5.30
贵州	1 312.70	681.75	87.14	183.55	100.61	12.86	1 496.25	782.36	2.00
云南	1 829.74	947.23	77.02	492.48	282.61	22.98	2 322.22	1 229.84	3.15
西藏	195.28	107.71	99.79	0.40	0.23	0.21	195.68	107.94	0.28
陕西	1 333.70	733.96	93.09	93.29	54.47	6.91	1 426.99	788.43	2.02
甘肃	1 169.01	638.60	95.61	49.01	29.30	4.39	1 218.02	667.90	1.71
青海	217.33	123.11	99.82	0.37	0.22	0.18	217.70	123.33	0.32
宁夏	370.62	196.81	91.62	31.98	18.00	8.38	402.60	214.81	0.55
新疆	2 188.60	1 251.88	87.28	306.73	182.43	12.72	2 495.33	1 434.31	3.67

注: * 加工副产物包含稻壳、玉米芯、花生壳、棉籽壳、甘蔗渣和甜菜渣,引自郭利磊等^[19]。

煤总量的62.46%;介于1500~3500万t的省份为中产地区,依次为吉林、内蒙古、江西、新疆、云南、辽宁和广东,各省产量范围为1957.31~3042.23万t,7省份秸秆折标煤总量占全国秸秆折标煤总量的23.63%;少于1500万t的为低产地区,依次为贵州、陕西、山西、甘肃、重庆、浙江、福建、宁夏、海南、青海、西藏、天津、上海和北京,各省产量范围为130.18~1496.25万t,14个省份秸秆折标煤总量仅占全国秸秆折标煤总量的13.80%。

2.4 主要作物田间秸秆的空间分布

水稻田间秸秆集中在降雨量丰富的省份或地区,产量超1000万t的省份除黑龙江以外,集中在长江流域及以南地区,产量从高到低排列为湖南、江苏、江西、安徽、湖北、黑龙江、四川、广西和广东,各省产量范围为1108.32~2460.55万t,这9个省份田间秸秆量占全国水稻田间秸秆总量73.81%(表4);水稻田间秸秆量超100万t的省份有云南、浙江、福建、吉林、辽宁、贵州、重庆、河南、海南、山东和上海,各省产量范围为113.19~701.83万t,这11省秸秆量占全国水稻田间秸秆总量24.67%;其他各省水稻田间秸秆总量仅占全国水稻田间秸秆总量的1.52%。

玉米田间秸秆生产大省主要集中在纬度较高的地区,按产量由高到低排列为吉林、黑龙江、山东、内蒙古、河南和河北(表4),各省产量范围为1313.19~1802.78万t,这6个省玉米田间秸秆量占全国玉米田间秸秆总量62.95%;玉米田间秸秆量超百万吨的省份有辽宁、山西、四川、陕西、云南、新疆、贵州、甘肃、安徽、重庆、湖北、江苏、广西、宁夏和湖南,各省产量范围为110.48~984.9万t,这15个省份玉米田间秸秆量占全国玉米田间秸秆总量的35.47%;其他各省玉米田间秸秆总量仅占全国玉米田间秸秆总量的1.58%。

小麦田间秸秆生产大省有河南、山东、河北、江苏和安徽,各省产量范围为1290.38~3907.50万t(表4),这5个省份小麦田间秸秆总量占全国小麦田间秸秆总量75.67%;年均产量超100万t的省份有新疆、四川、陕西、湖北、甘肃、山西、内蒙古、云南和黑龙江,各省产量范围为96.11~623.31万t,这9个省份小麦田间秸秆总量占全国小麦田间秸秆总量的21.23%;其他各省小麦田间秸秆总量仅占全国小麦田间秸秆总量的3.1%。

全国油菜田间秸秆年均产量为3512.03万t,

折标煤占全国田间秸秆折标煤总量6.28%(表2),产量较高的省份有湖北、四川、安徽、湖南、江苏、河南、贵州、江西和浙江,各省产量范围为98.88~640.4万t(表4),这9省油菜田间秸秆总量占全国油菜田间秸秆总量的84.78%。

全国豆类田间秸秆年均产量为2562.16万t,折标煤占全国田间秸秆折标煤总量4.90%(表2),以大豆为主。黑龙江是中国最大的大豆生产基地,年均豆类田间秸秆量为650.94万t,占全国豆类田间秸秆总量25.41%(表4);内蒙古、安徽、云南、四川、吉林、江苏和河南均超100万t,为127.39~206.28万t,这7省豆类田间秸秆总量占全国豆类田间秸秆总量的43.71%。

全国棉花田间秸秆年均产量为2056.09万t,折标煤量占全国田间秸秆折标煤总量的3.77%(表2),集中在新疆、山东、河北、湖北、河南、安徽、江苏和湖南,为78.48~813.45万t(表4),这8省棉花田间秸秆总量占全国棉花田间秸秆总量的92.08%。

全国甘蔗秸秆年均产量3080.15万t,折标煤量排在中国16类作物的第五位(表3),但其田间秸秆年均产量虽只有1199.14万t,主要集中在广西、广东和云南,这3省甘蔗田间秸秆量占全国甘蔗田间秸秆总量的91.43%。

2.5 各省田间秸秆主要种类

根据中国秸秆空间分布的高产、中产和低产地区划分方法,在高产和中产地区,将田间秸秆折标煤占所在省份田间秸秆折标煤总量达5%以上的作物列为该省田间秸秆的主要种类;低产地区的田间秸秆总量较少,因此将田间秸秆折标煤量占所在省份田间秸秆折标煤总量达10%以上的作物列为该省份田间秸秆的主要种类。全国绝大部分省份田间秸秆主要种类包括水稻、小麦和玉米其中的1种、2种或3种及其他1~3种作物田间秸秆(图1)。

高产地区包括河南、山东、江苏、黑龙江、安徽、四川、广西、湖南、河北和湖北10个省份。各省的田间秸秆主要种类(其田间秸秆折标煤量占该省田间秸秆折标煤总量百分比大于5%)分别为:河南是小麦(56.74%)、玉米(22.07%)和水稻(5.30%)田间秸秆,山东为小麦(53.62%)、玉米(29.71%)、棉花(5.69%)和花生(5.57%)田间秸秆,江苏是水稻(42.99%)、小麦(32.17%)和油菜(8.79%)田间秸秆,黑龙江是玉米(43.22%)、水稻(28.33%)、豆类(18.82%)田间秸秆,安徽是水稻(33.39%)、小麦

表4 2007—2009年中国31省大田作物年均田间秸秆量

Table 4 Annual estimate of residue of field crops in 31 provinces of China during 2007—2009

省市区	水稻	小麦	玉米	其他谷类	豆类	薯类	棉花	花生	油菜	芝麻	其他油料作物	黄红麻	其他纤维作物	甘蔗	甜菜	烟草	总量
北京	0.32	36.18	74.59	1.07	2.38	0.90	0.36	1.74	—	—	0.09	—	—	—	—	—	117.61
天津	14.08	60.74	73.13	0.15	1.87	0.15	21.56	0.26	—	—	0.52	—	—	—	—	—	172.46
河北	54.01	1 482.50	1 313.19	101.40	56.04	36.06	180.49	116.03	6.91	1.91	15.72	0.12	0.74	—	4.41	0.40	3 369.91
内蒙古	54.08	188.65	1 510.81	273.89	206.28	105.58	0.67	2.62	54.26	1.33	212.03	—	9.92	—	12.26	0.99	2 633.39
山西	0.42	285.11	672.33	75.57	43.52	16.85	26.71	1.98	1.85	0.66	34.54	—	—	—	1.85	0.61	1 161.99
辽宁	520.70	5.98	984.90	134.60	52.07	27.99	0.48	35.42	0.26	0.35	5.07	—	—	—	0.58	2.20	1 770.60
吉林	543.84	1.81	1 802.78	84.13	141.87	15.98	0.67	25.08	—	1.71	35.56	—	0.77	—	1.11	3.84	2 659.15
黑龙江	1 383.20	96.11	1 762.65	112.41	650.94	39.63	—	5.01	0.44	0.70	51.50	—	84.99	—	17.80	5.28	4 210.64
安徽	1 506.18	1 290.38	241.17	24.14	191.87	25.00	121.01	90.18	425.10	14.27	3.16	3.47	8.62	2.55	—	1.93	3 949.05
福建	579.55	1.82	10.54	3.52	25.67	63.76	0.15	25.37	3.93	0.29	0.09	—	—	6.57	—	9.69	730.95
江苏	2 295.51	1 398.92	176.69	175.77	129.41	22.34	103.71	45.39	341.66	3.68	0.06	—	2.04	0.92	—	0.03	4 606.13
江西	1 913.89	2.62	5.47	2.76	40.92	31.18	40.72	47.57	153.27	5.42	0.21	0.16	7.05	5.93	—	2.96	2 260.13
山东	143.01	2 815.70	1 537.61	17.36	57.25	75.85	260.72	294.75	7.08	0.34	1.21	—	—	—	0.01	7.18	5 218.07
上海	113.19	19.97	1.84	9.91	2.84	0.15	0.93	0.37	9.59	—	0.07	—	—	0.12	—	—	158.99
浙江	700.49	25.13	8.95	31.78	45.56	18.15	9.15	5.95	98.88	1.47	—	0.16	0.23	7.62	—	0.25	953.79
广东	1 108.32	0.33	51.96	9.08	27.16	91.20	—	101.14	2.41	0.45	—	0.15	—	123.52	—	3.42	1 519.15
广西	1 234.22	0.69	169.73	4.68	36.03	33.46	0.69	45.04	3.61	1.08	0.84	1.69	0.87	797.72	—	2.14	2 332.50
海南	170.46	—	5.84	1.02	2.08	18.39	—	9.97	—	0.59	—	0.16	—	47.73	—	—	256.25
河南	430.24	3 907.50	1 497.77	46.55	127.39	57.28	154.10	335.61	236.48	41.97	4.18	7.85	0.31	2.23	—	19.03	6 868.50
湖北	1 475.68	469.85	189.17	30.86	68.28	42.62	173.22	70.86	640.40	26.13	1.85	0.33	29.09	2.58	—	7.79	3 228.73
湖南	2 460.55	5.89	110.48	13.69	54.67	56.33	78.48	27.10	351.95	2.11	1.02	0.10	71.04	7.66	—	16.41	3 257.48
贵州	518.36	58.13	307.60	32.95	55.27	101.70	0.27	7.85	193.84	—	2.55	—	0.70	6.90	—	26.59	1 312.70
四川	1 331.26	486.00	527.19	115.38	163.35	207.09	5.26	71.42	538.22	0.96	2.32	0.54	42.23	10.61	0.02	15.55	3 517.41
西藏	0.56	31.23	1.74	143.06	3.75	0.33	—	—	14.56	—	0.04	—	—	—	—	—	195.28
云南	701.83	106.62	413.66	34.94	163.43	82.34	—	6.02	81.21	—	5.69	—	14.27	175.14	0.01	44.57	1 829.74
重庆	464.79	61.53	198.07	11.51	57.12	134.41	—	9.36	80.15	1.39	1.62	—	10.53	1.16	—	6.08	1 037.73
甘肃	3.12	321.98	265.34	233.55	47.89	126.61	30.40	0.15	72.80	—	60.44	—	3.84	—	2.11	0.77	1 169.01
宁夏	63.19	71.71	161.53	13.84	4.20	25.37	—	—	—	—	30.64	—	—	—	—	0.14	370.62
青海	—	62.21	2.38	29.60	15.26	22.21	—	—	84.59	—	0.96	—	—	—	0.03	0.08	217.33
陕西	74.75	479.93	481.15	49.23	65.09	46.95	24.13	7.18	82.55	3.16	14.25	—	0.31	0.18	—	4.84	1 333.70
新疆	37.45	623.31	411.52	57.93	30.86	11.55	813.45	1.13	28.62	1.19	94.94	—	36.12	—	40.43	0.09	2 188.60

注：—为年鉴中没有该作物产量统计，因而没有其秸秆量。

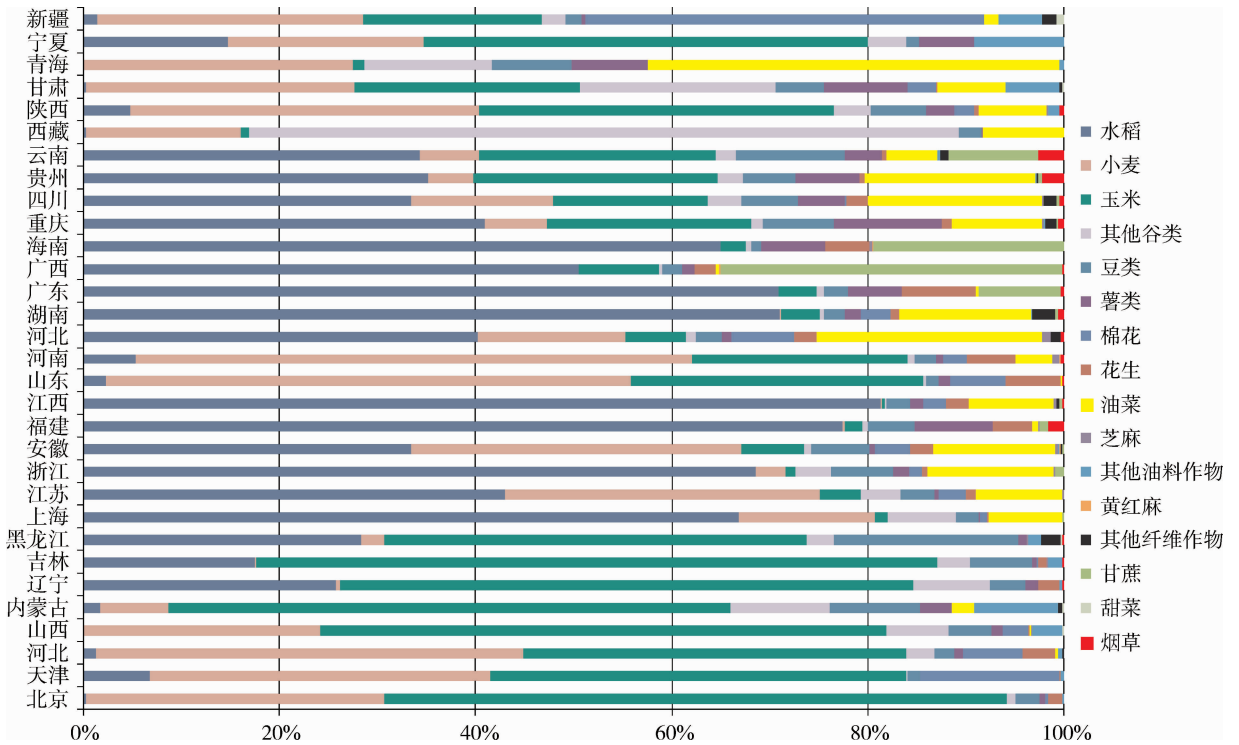


图 1 2007—2009 年中国各省大田作物年均田间秸秆折标煤量占全省田间秸秆折标煤总量百分比

Fig. 1 Percentage of standard coal equivalence of each crop's field residue/total in 31 provinces of China during 2007—2009

(33.75%)、油菜(12.44%)、玉米(6.40%)和豆类(6.00%)田间秸秆,四川是水稻(33.43%)、油菜(17.85%)、玉米(15.85%)、小麦(14.40%)和豆类(5.79%)田间秸秆,广西是水稻(50.47%)、甘蔗(34.88%)和玉米(8.31%)田间秸秆,湖南是水稻(71.04%)和油菜(13.42%)田间秸秆,河北是(小麦43.38%)、玉米(39.08%)和棉花(13.42%)田间秸秆,湖北是水稻(40.20%)、油菜(23.03%)、小麦(15.10%)、棉花(6.38%)和玉米(6.17%)田间秸秆。广西、湖北和四川主要粮食作物田间秸秆所占比例在60%左右,高产区其他各省均在70%以上。

中产地区包括吉林、内蒙古、江西、新疆、云南、辽宁和广东7个省份。各省田间秸秆的主要种类(其田间秸秆折标煤量占该省田间秸秆折标煤总量百分比大于5%)分别为:吉林为玉米(69.58%)、水稻(17.54%)和豆类(6.46%)田间秸秆,内蒙古为玉米(57.20%)、其他谷类(10.22%)、豆类(9.21%)、其他油料作物(8.48%)和小麦(7.04%)田间秸秆,江西主要是水稻(81.38%)田间秸秆,新疆为棉花(40.61%)、小麦(27.14%)和玉米(18.18%)田间秸秆,云南为水稻(34.23%)、玉米(24.15%)、豆类

(11.25%)、甘蔗(9.13%)、小麦(6.13%)和油菜(5.23%)田间秸秆,辽宁为玉米(58.44%)、水稻(25.81%)和其他谷类(7.87%)田间秸秆,广东为水稻(70.88%)、甘蔗(8.45%)、花生(7.57%)和薯类(5.45%)田间秸秆。除新疆外,其他各省主要粮食作物田间秸秆所占比例均在60%以上。

低产地区有贵州、陕西、山西、甘肃、重庆、浙江、福建、宁夏、海南、青海、西藏、天津、上海和北京共14个省份。该区各省的田间秸秆主要种类(其田间秸秆折标煤量占该省田间秸秆折标煤总量百分比大于10%)具体为:以玉米和小麦田间秸秆为主的省份有北京(94.01%)、山西(81.82%)和陕西(71.89%);上海以水稻和小麦田间秸秆(80.74%)为主,福建主要是水稻田间秸秆(77.44%),宁夏为玉米、小麦和水稻田间秸秆(80.08%)为田间秸秆主要种类。该区其他省份的粮食作物也占较大比重,但其他田间秸秆主要种类相对较为丰富。其中天津以玉米(42.42%)、小麦(34.72%)和棉花(14.14%)田间秸秆为主,浙江以水稻(68.67%)和油菜(12.80%)田间秸秆为主,海南以水稻(64.49%)和甘蔗(19.45%)田间秸秆为主,重庆以水稻

(40.93%)、玉米(20.88%)和薯类(11.07%)田间秸秆为主,贵州以水稻(35.13%)、玉米(24.95%)和油菜(17.34%)田间秸秆为主,甘肃以小麦(27.48%)、玉米(22.98%)和其他谷类(19.93%)田间秸秆为主,青海以油菜(41.91%)、小麦(27.54%)和其他谷类(13.10)田间秸秆为主,西藏以其他谷类(72.39%)和小麦(15.80%)田间秸秆为主。

2.6 主要大田作物田间秸秆时间分布

中国主要大田作物 2007—2009 年年均田间秸秆产量 61 757.91 万 t,折标煤占全国田间秸秆折标煤总量的 95.38%。田间秸秆年度时间分布不均,主要受水稻、小麦和玉米田间秸秆成熟期影响(表 5)。第三季度大部分作物田间秸秆成熟,有 29 352.94 万 t,折标煤占全国田间秸秆折标煤总量的 44.49%,第二和第四季度持平,而第一季度田间秸秆折标煤仅为全国田间秸秆折标煤总量的 1.37%。

第一季度主要有南方部分省份秋播或冬播作物的田间秸秆成熟,此时段华南地区的冬小麦、油菜、马铃薯和甘蔗为收获季节,其中广西、广东、海南、重庆和云南成熟秸秆较多(表 5)。作为中国甘蔗生产大省的广西、广东、云南和海南为第一季度田间秸秆生产大省,成熟田间秸秆量为 17.72~240.92 万 t,折标煤量分别占各省田间秸秆折标煤总量的 6.83~21.33%。

第二季度,冬小麦、油菜和部分春玉米田间秸秆成熟,其中,山东和河南冬小麦成熟田间秸秆折标煤量分别占各省田间秸秆折标煤总量的 53.62%、56.74%,北京和天津的冬小麦成熟的田间秸秆分别占各省田间秸秆折标煤总量 1/3 以上(表 5)。再加上春玉米和油菜田间秸秆,河南、山东、安徽、江苏成熟田间秸秆折标煤量均超过各省田间秸秆折标煤总量的 40%;湖北、河北、上海、浙江、湖南、重庆、四川、贵州、陕西、甘肃各省此季度成熟田间秸秆所占比重较大,折标煤量分别占各省田间秸秆折标煤总量的 12.67~39.66%。广西、广东、云南等省份冬种作物已收获,春播作物尚未成熟,4—6 月成熟田间秸秆量全年最低。

第三季度为大田作物田间秸秆成熟高峰,水稻、春小麦、春玉米、春大豆、春油菜、马铃薯、东三省的棉花及部分经济作物均在此时段成熟。其中,此时段成熟的田间秸秆折标煤占各省田间秸秆折标煤总量超过 50%的省份有河北、山西、内蒙古、东三省、江西、湖南、海南、重庆、四川、贵州、陕西、青海、宁夏

和新疆,比例范围在 50.11~84.51%之间(表 5)。低于 30%的省份有天津、江苏、安徽、山东、河南和广东,比例最低为河南省,只有 19.67%。西藏较为特殊,其他谷类田间秸秆量折标煤量占西藏田间秸秆折标煤总量的 72.39%,表 5 的数据不包含这部分,若考虑这部分田间秸秆,此季度成熟田间秸秆量的折标煤量占西藏田间秸秆折标煤总量的 96.57%。

第四季度成熟的田间秸秆类型与第三季度基本相同,水稻、夏玉米、棉花、夏大豆、花生、薯类等作物田间秸秆在 8—12 月成熟。广东和福建此时段成熟田间秸秆较多,占全年总量 40%以上(表 5),北京、天津、吉林、黑龙江、浙江、福建、江西和广西超过 30%,只有西藏和新疆低于 10%。

2.7 各省主要作物田间秸秆时间分布

各省区主要作物田间秸秆成熟时间呈季节性分布特征。内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、西藏、甘肃、青海、宁夏和新疆等高纬度地区及高海拔地区气候冷凉,作物生长季节集中,3—4 月播种,7 月春小麦成熟,9 月下旬至 10 月中旬田间作物基本上收获完成,田间秸秆成熟期季节性最为明显。这 8 省的田间秸秆集中在第三季度成熟(表 6),除甘肃外,该时段成熟的田间秸秆折标煤量占各省田间秸秆折标煤总量均超过 55%,最高为新疆,高达 84.51%,其次为第四季度,第二季度和第一季度成熟的田间秸秆折标煤量不足各省份田间秸秆折标煤总量的 1%。甘肃东南部分属于北部和黄淮冬麦区,第二季度成熟的田间秸秆折标煤占全省田间秸秆折标煤总量的 12.67%;第三季度成熟的田间秸秆最多,其次是第四季度,这与其他各省相似。

北京、天津、河北、山西、山东、河南、陕西等省份以冬小麦和夏玉米田间秸秆为主,或包含一定量棉花、水稻田间秸秆。冬小麦田间秸秆在 5—6 月份成熟,夏玉米、棉花和单季稻田间秸秆在 9—10 月份成熟,各省田间秸秆在第二季度成熟的部分占总量比重较大,其中山东和河南此时段成熟的田间秸秆折标煤量分别占全省田间秸秆折标煤总量的 54.18%和 60.79%;河北长城以北地区属北部特早熟棉区,除玉米成熟外,尚有部分棉花田间秸秆成熟,山西和陕西两省部分地区属春麦区,春麦田间秸秆在 7—8 月成熟,这使得河北、山西和陕西三省第三季度成熟的田间秸秆均超过全省年均田间秸秆总量的 50%。

江苏、浙江、安徽、湖北、湖南、四川和贵州均属单双季稻作区,以水稻和油菜田间秸秆为主,其中江

表5 2007—2009年中国及各省主要大田作物秸秆时间分布

Table 5 Temporal distribution of field residues' standard coal equivalence of the main field crops in 31 provinces of China during 2007—2009

万 t

区域	第一季度			第二季度			第三季度			第四季度		
	秸秆量/ 万 t	折标煤量 万 t	占比/%	秸秆量/ 万 t	折标煤量 万 t	占比/%	秸秆量/ 万 t	折标煤量 万 t	占比/%	秸秆量/ 万 t	折标煤量 万 t	占比/%
中国	967.38	467.10	1.37	14 883.08	8 277.86	24.27	29 352.94	15 175.11	44.49	16 554.51	8 616.60	25.26
北京	0	0	0	36.54	19.87	30.64	43.29	24.02	37.04	36.62	20.32	31.34
天津	0	0	0	60.82	33.14	34.76	47.34	25.65	26.90	63.64	36.16	37.93
河北	0	0	0	573.98	313.06	16.85	1 900.07	1 045.44	56.27	778.01	434.71	23.40
山西	0	0	0	113.89	61.77	9.59	582.04	322.85	50.11	355.96	198.37	30.79
内蒙古	0	0	0	0	0	0	1 513.99	837.90	57.37	623.56	344.19	23.56
辽宁	0	0	0	5.97	2.59	0.28	1 109.56	582.01	62.45	515.40	271.05	29.08
吉林	0	0	0	0	0	0	1 656.38	894.49	62.43	882.31	471.32	32.89
黑龙江	0	0	0	0.03	0.02	0.00	2547.32	1 372.13	60.84	1 414.40	745.44	33.05
上海	0	0	0	29.98	16.96	21.67	76.83	35.62	45.52	42.20	20.23	25.86
江苏	0	0	0	1 778.48	990.95	41.81	1 492.78	710.34	29.97	1 157.01	572.01	24.13
浙江	0	0	0	132.54	77.93	16.54	479.02	222.14	47.13	310.22	153.79	32.63
安徽	0	0	0	1 765.50	989.30	47.48	1 121.19	537.90	25.81	1 026.43	536.87	25.76
福建	27.88	12.42	3.59	37.88	18.52	5.36	361.99	168.29	48.67	299.59	144.57	41.81
江西	6.38	2.92	0.27	167.09	100.06	9.21	1 313.64	608.95	56.05	763.01	369.10	33.97
山东	0	0	0	2 850.31	1 550.77	54.18	1 230.13	672.89	23.51	1 119.06	628.23	21.95
河南	0	0	0	4 161.64	2 281.47	60.79	1 376.31	738.20	19.67	1 279.50	705.37	18.79
湖北	8.47	3.69	0.22	1 159.35	672.69	39.66	1 178.72	559.81	33.01	820.38	426.02	25.12
湖南	12.49	5.48	0.34	394.35	236.41	14.77	1 879.47	876.63	54.78	888.04	436.22	27.26
广东	104.27	49.36	6.83	47.27	23.91	3.31	449.52	213.59	29.57	880.05	416.32	57.63
广西	489.20	240.92	21.33	44.76	24.37	2.16	867.26	413.05	36.56	924.88	447.88	39.64
海南	36.97	17.72	14.62	19.42	9.39	7.74	135.67	63.38	52.29	74.62	35.83	29.56
重庆	33.59	14.56	2.77	163.66	91.94	17.52	535.25	264.95	50.50	281.55	140.27	26.73
四川	51.25	22.53	1.22	414.10	235.10	12.78	2 158.41	1 109.60	60.32	731.62	384.02	20.88
贵州	25.50	11.23	1.65	271.79	158.67	23.27	843.28	418.89	61.44	138.80	74.56	10.94
云南	171.31	86.25	9.11	140.27	82.60	8.72	927.26	471.70	49.80	481.62	249.65	26.36
西藏	0.08	0.04	0.03	0.05	0.02	0.02	46.13	26.04	24.18	5.92	3.62	3.36
陕西	0	0	0	359.69	200.43	27.31	692.21	377.14	51.38	218.03	121.07	16.50
甘肃	0	0	0	145.54	80.93	12.67	561.11	304.72	47.72	164.52	88.27	13.82
青海	0	0	0	0	0	0	153.03	86.45	70.22	33.73	19.96	16.22
宁夏	0	0	0	0	0	0	252.59	132.42	67.28	73.54	38.96	19.79
新疆	0	0	0	8.18	4.99	0.40	1 821.12	1 057.93	84.51	170.31	82.21	6.57

苏、安徽和四川还包含小麦田间秸秆。由于油菜和冬小麦田间秸秆均在第二季度成熟,水稻在第三和第四季度成熟,因此,各省田间秸秆成熟时间均匀的分布在第二、三和第四季度。上海和重庆田间秸秆成熟时间分布近似,第三季度成熟田间秸秆最多,其他田间秸秆平均分布在第二和第四季度成熟。江西和福建的单季稻和早稻田间秸秆在第三季度成熟,晚稻田间秸秆在第四季度成熟,田间秸秆集中在第三和第四季度成熟。

广西、广东、海南、云南田间秸秆主要以双季稻和甘蔗为主,分别有玉米、花生、豆类、薯类等的一种或几种(图1),甘蔗田间秸秆从11月至次年4月收获,双季稻、春播和夏播玉米田间秸秆均在7—12月成熟,4—6月成熟田间秸秆较少。各省第一季度田间秸秆主要为甘蔗田间秸秆,其中广西第一季度成熟的田间秸秆折标煤240.92万t(甘蔗田间秸秆折标煤为234.88万t),第三季度和第四季度成熟的田间秸秆折标煤总量均超过各省田间秸秆折标煤总量的75%以上。

3 讨论

中国大田作物占农作物播种面积的77%^[24-26],可见大田作物是中国农作物秸秆最主要的组成部分。大田作物秸秆资源量及其种类和分布是秸秆综合利用的基础数据,其准确性至关重要。本研究以当前准确的作物秸秆定义和分类^[15],以及2006—2010年间发表的田间试验实测数据为主确定大田作物在各省市区的秸秆系数取值^[16-18]的基础上,根据国家统计的2007—2009大田作物产量数据^[24-26],确定了不同省市自治区大田作物秸秆量,还首次报导了各省市区秸秆的季节分布,应是迄今为止最为准确的秸秆资源量及其分布的结果。

前人对秸秆量的研究利用1994—1998年发表的秸秆系数较多,其中水稻秸秆系数为0.623,小麦秸秆系数为1.366,玉米秸秆系数为2.0。这些研究中,Liu等^[50]评估中国1995—2004年10年平均秸秆产量6.3亿t,其中水稻1.2亿t、小麦1.4亿t、玉米2.4亿t;Zhou等^[51]评估中国1991—2008年的秸秆量为5.5~7.7亿t;Zeng等^[3]评估2002年中国秸秆总量为6.2亿t,其中水稻1.1亿t、小麦1.2亿t、玉米2.4亿t;Li等^[52]评估中国2006年秸秆量为6.8亿t,其中水稻为1.1亿t、小麦1.4亿t、玉米2.9亿t。这些研究除了没有确定作物秸秆

定义和分类(如未明确其研究是否含作物加工副产物)外,由于秸秆系数取值不符合当前生产水平(如小麦秸秆系数取值偏低,玉米秸秆系数又偏高),评估结果与实际结果必然存在较大差异。

秸秆资源是生物质资源的一部分,评估其产量的折标准煤量更具理论指导意义。各秸秆的热值取值差异大(表1),应参考秸秆系数取值的办法。上世纪发表文献的秸秆热值^[33,36-37]较本世纪近年来发表的各种秸秆热值^[39,53]要低一些;石元春^[22]引用的折标煤系数为水稻0.429、小麦0.500、玉米0.529^[33],较保守的估计了中国秸秆能量总量;而Li等^[23]引用的折标煤系数为水稻0.476、小麦0.520、玉米0.530,取均值0.486进行秸秆能量估算,过低估计了秸秆能量总量。本研究在广泛收集中外作物秸秆热值的基础上计算各作物秸秆的折标煤系数,三大作物收集的样本均有8个或以上的取值,样本量少于3个的作物占秸秆总量的比重较小,加权平均各作物秸秆折标煤系数为0.528,其中水稻为0.462,小麦0.545,玉米0.553。

本研究以最新各省各作物秸秆系数准确评估了田间秸秆资源量,结合最新加工副产物研究结果评估中国及各省秸秆资源量;还首次根据田间秸秆成熟期^[21]确定了中国主要作物田间秸秆成熟时间分布,为秸秆资源高效利用提供理论依据。鉴于秸秆资源实际利用尚需要更详实的数据,如省级^[54-55]、市级^[56-57]和县级^[58-59]的秸秆理论资源量、可收集量及可利用量,某一作物秸秆^[60]在某一地区的分布情况,加工企业合理布点,全生命周期评价秸秆利用所带来的农田生态、工厂及农民经济效益等,都将成为未来秸秆资源化利用的研究重点。

参 考 文 献

- [1] 田宜水,赵立欣,孙丽英,等.农作物秸秆资源调查与评价方法研究[J].中国人口资源与环境专刊,2011,21(3):583-586
- [2] 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,2006,28(1):9-13
- [3] Zeng X Y, Ma Y T, Ma L R. Utilization of straw in biomass energy in China [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 11: 976-987
- [4] 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
- [5] 贾小黎.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):9-15
- [6] 毕于运,高春雨,高亚静,等.中国秸秆资源数量估算[J].农业

- 工程学报, 2009, 25(12): 211-217
- [7] 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): 173-79
- [8] 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]. 山东省农业管理干部学院学报, 2007, 23(2): 164-165
- [9] 朱建春, 李荣华, 杨香云, 等. 近 30 年来中国农作物秸秆资源量的时空分布[J]. 西北农林科技大学学报, 2012, 40(4): 1-7
- [10] Cai J M, Liu R H, Deng C J, et al. Amount, availability and potential uses for energy of agricultural residues in Mainland China[J]. Energy Inst, 2007, 80(4): 243-246
- [11] 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[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179
- [12] 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, 16(4): 373-380
- [13] 张培栋, 杨艳丽, 李光全, 等. 中国农作物秸秆能源化潜力估算[J]. 可再生能源, 2007, 25(6): 80-83
- [14] 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
- [15] 谢光辉, 王晓玉, 任兰天. 中国农作物秸秆资源评估研究现状[J]. 生物工程学报, 2010, 26(7): 855-863
- [16] 谢光辉, 韩东倩, 王晓玉, 等. 中国禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数[J]. 中国大田大学学报, 2011, 16(1): 1-8
- [17] 谢光辉, 王晓玉, 韩东倩, 等. 中国非禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数[J]. 中国大田大学学报, 2011, 16(1): 9-17
- [18] 王晓玉, 薛帅, 谢光辉. 大田作物秸秆量评估中秸秆系数取值研究[J]. 中国大田大学学报, 2012, 17(1): 1-8
- [19] 郭利磊, 王晓玉, 陶光灿, 等. 中国各省大田作物加工副产物资源量评估[J]. 中国大田大学学报, 2012(已接收)
- [20] 毕于运, 王道龙, 高春雨, 等. 中国秸秆资源评价与利用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008
- [21] 韦茂贵, 王晓玉, 谢光辉. 我国不同地区主要大田作物田间秸秆成熟期[J]. 中国大田大学学报, 2012(已接收)
- [22] 石元春. 中国生物质原料资源[J]. 中国工程科学, 2011, 13(2): 16-23
- [23] Li J F, Hu R Q, Song Y Q, et al. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in China [J]. Biomass and Bioenergy, 2005, 29: 167-177
- [24] 国家统计局. 中国统计年鉴 2007[R]. 北京: 中国农业出版社, 2008
- [25] 国家统计局. 中国统计年鉴 2008[R]. 北京: 中国农业出版社, 2009
- [26] 国家统计局. 中国统计年鉴 2009[R]. 北京: 中国农业出版社, 2010
- [27] Wikipedia, the free encyclopedia, Heat of combustion [G]. http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion
- [28] 常竹. 市场化条件下我国天然气定价原则浅议[J]. 国际石油经济, 2004, 10(4): 46-49
- [29] 王庆一. 能源词典[M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2005
- [30] NREL. Assessment of biomass resources in Liberia [M]. Technical report, NREL/TP-6A2-44808, April; 2009
- [31] Mustafa A, Hasan A. Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey [J]. Biomass and bioenergy, 2012 (36): 69-76
- [32] 熊昌国, 谢祖琪, 易文裕, 等. 农作物秸秆能源利用基本性能的研究[J]. 西南农业学报, 2010, 23(5): 1725-1732
- [33] 李京京, 白金明, Ralph, O. 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
- [34] Rosillo-Calle F, de Groot P, Hemstock S, et al. The biomass assessment handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment [M]. Earthscan, London, UK, 2007
- [35] Ryan P, Openshaw K. Assessment of bioenergy resources: a discussion of its needs and methodology. Industry and energy development working paper, energy series paper no 48 [M]. World Bank, Washington DC, USA, 1991
- [36] Senelwa K A, Hall D O. A biomass energy flow chart for Kenya [J]. Biomass and Bioenergy, 1994 (4): 35-48
- [37] Strehler A, Stutzle G, Hall D O, et al. Biomass; Regenerable Energy [M]. London: Elsevier Applied Science Publisher, 1987
- [38] Naik S, Goud V V, Rout K P, et al. Characterization of Canadian biomass for alternative renewable biofuel [J]. Renewable Energy, 2010 (35): 1624-1631
- [39] 姜文清, 周志宇, 秦彧, 等. 西藏牧草和作物秸秆热值研究[J]. 草业科学, 2010, 27(7): 147-153
- [40] Zabaniotou A, Ioannidou O, Antonakou E, et al. Experimental study of pyrolysis for potential energy, hydrogen and carbon material production from lignocellulosic biomass [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008, 33(10): 2433-2444
- [41] Skoulou V, Mariolis N, Zanakis G, et al. Sustainable management of energy crops for integrated biofuels and green energy production in Greece [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011 (5): 1928-1936
- [42] Kumar A, Purohit P, Rana S, et al. An approach to the estimation of the value of agricultural residues used as biofuels [J]. Biomass and Bioenergy, 2002 (22): 195-203
- [43] Alonso-Pippo W, Luengo C L, Koehlinger J, et al. Sugarcane energy use: The Cuban case [J]. Energy Policy, 2008, 36(6): 2163-2181
- [44] GB/T 2589—2008. 综合能耗计算通则[S]. 北京: 国家技术监督局, 2008
- [45] Vekariya P D, 坤坤贵. 叶鞘含水量对甘蔗蔗汁品质的影响 [J]. 四川甘蔗, 1991(4): 30-31
- [46] 谢金兰, 罗亚伟, 梁阔, 等. 冬植甘蔗萌芽出苗与土壤水分的关系[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(27): 14961-14962
- [47] 于振文, 赵明, 王伯伦, 等. 作物栽培学各论: 北方本 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [48] Bassam N E. Energy plant species, their use and impact on environment and development [M]. London: James and James (Science Publishers) Ltd., 1998
- [49] 张宇航, 王清发, 张景楼. 浅析饲用甜菜的发展前景[J]. 中国糖料, 2005(4): 53-54
- [50] 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*, 2008, 12: 1402-1418
- [51] Zhou X P, Fang W G, Hu H W, et al. Assessment of sustainable biomass resource for energy use in China [J]. *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35: 1-11
- [52] Li X, Huang Y M, Gong J R, et al. A study of the development of bio-energy resources and the status of eco-society in China [J]. *Energy*, 2010, 35: 4451-4456
- [53] Erol M, Haykiri-Acma H, Küçükbayrak S. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data[J]. *Renewable Energy*, 2010, 35: 170-173
- [54] 刘鹏, 那伟, 王秀玲, 等. 吉林省主要农作物秸秆资源评价及能源化利用分析[J]. *吉林农业科学*, 2010, 35(5): 58-64
- [55] 冯蕾, 王效华. 江苏省农作物秸秆资源量的灰色预测[J]. *能源研究与利用*, 2010(4): 1-3
- [56] 梅晓岩, 武敬岩, 刘荣厚. 辽宁农作物秸秆资源评价及能源化利用分析[J]. *可再生能源*, 2008, 26(6): 97-100
- [57] 董照锋, 张乐, 林娟, 等. 商洛市农作物秸秆资源现状调查及利用潜力分析[J]. *陕西农业科学*, 2010(2): 126-128
- [58] 聂飞, 王宇波. 咸宁市秸秆资源潜力估算及能源化利用分析[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(24): 5075-5078
- [59] 张东菊, 刘俊伟, 田秉晖. 北京市秸秆资源潜力及利用状况分析[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(16): 8592-8594
- [60] 安载学, 穆楠, 李万良. 吉林省玉米秸秆资源量及综合利用情况分析[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(2): 937-938, 941

责任编辑: 袁文业