

中国各省大田作物加工副产物资源量评估

郭利磊 王晓玉 陶光灿 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 作物加工副产物是秸秆资源的组成部分。本研究明确了加工副产物的概念、其系数取值和计算方法,评估了2007—2009年中国各省市自治区大田作物加工副产物的资源量。各省稻壳系数的取值范围为0.16~0.20,平均值为0.18;玉米芯系数取值范围是0.12~0.22,平均值为0.16;花生壳系数的取值范围为0.25~0.30,平均值为0.27;棉籽壳系数为0.47;甘蔗渣系数为0.16;甜菜渣系数为0.05。全国每年共产稻壳3 438.20万t,在30个省市区的分布量为0.05万t(北京)~451.94万t(湖南)。玉米芯年产量为2 571.67万t,分布范围为0.30万t(西藏)~293.77万t(黑龙江)。此外,花生壳年产量为378.19万t、棉籽壳为549.37万t、甘蔗渣1 881.01万t、甜菜渣43.59万t。稻壳的折标准煤转化系数是0.49,折标准煤量为1 684.72万t;玉米芯是0.60,折标准煤1 543.00万t;花生壳0.59,折标准煤233.13万t;棉籽壳0.60,折标准煤329.62万t;甘蔗渣0.60,折标准煤1 128.61万t;甜菜渣0.57,折标准煤24.85万t。全国加工副产物每年总产量达到8 862.03万t,折标准煤共4 933.93万t。

关键词 作物; 秸秆; 加工副产物

中图分类号 S 216.2; S 51

文章编号 1007-4333(2012)06-0045-11

文献标志码 A

Assessment of field crop process residues production among different Provinces in China

GUO Li-lei, WANG Xiao-yu, TAO Guang-can, XIE Guang-hui*

(College of Agronomy and Biotechnology/National Energy R&D Center for Non-food Biomass,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Process residue (PR) is an important part of crop residue resources. The annual yield of field crops PR produced between 2007 and 2009 is evaluated based on provinces of China. The PR conception, PR factor and calculation method are clarified. Among different provinces, rice husk factor varied between 0.16 and 0.20 and averaged at 0.18. Corn cob factor varied between 0.12 and 0.22 and averaged at 0.16. Peanut hull ranged between 0.25 and 0.30 and averaged at 0.27. The factors of cotton seed hull, sugarcane bagasse and sugarbeet bagasse are 0.47, 0.16 and 0.05, respectively. Annual production of rice husk was 34.38 Mt and ranged between 500 t in Beijing and 4.52 Mt in Hunan among 30 provinces. Corn cob was 25.72 Mt and varied between 3 000 t in Tibet and 2.94 Mt in Heilongjiang among 31 provinces. The annual production of peanut hull cotton seed hull sugarcane bagasse and sugarbeet bagasse were 3.78 Mt, 5.49 Mt, 18.81 Mt and 0.44 Mt, respectively. The equivalent conversion coefficient from rice husk to standard coal was 0.49 and the equivalent standard coal was 16.85 Mt. For corn cob, the conversion coefficient was 0.60 and the equivalent standard coal was 15.43 Mt. And the conversion coefficients and the equivalent standard coal values were 0.59 and 2.33 Mt for peanut hull, 0.60 and 3.30 Mt for cotton seed hull, 0.60 and 11.29 Mt for sugarcane bagasse, 0.57 and 0.25 Mt for sugarbeet bagasse, respectively. In China, The total PR quantity was 88.62 Mt, which was equivalent to 49.34 Mt of standard coal annually.

Key words crop; crop residue; process residue

收稿日期: 2011-12-20

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: 郭利磊, 硕士研究生, E-mail: guolilei1986@126.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

我国是农业大国, 秸秆资源十分丰富。秸秆包括田间秸秆和加工副产物^[1]。加工副产物是指作物粗级加工过程中产生的剩余物, 如稻壳、玉米芯等, 但不包括麦麸、谷糠等其他精细加工的副产物。与田间秸秆相比, 加工副产物有其自身的特点。由于是主要产品初步加工后的产物, 副产物季节性表现相对较弱, 规模使用前的收集过程相对简单。但是, 前人对于加工副产物资源量的研究较少, 研究加工副产物的评估方法并明确其资源量、种类和分布, 对于我国秸秆资源的评估及利用有重要意义。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

根据《中国统计年鉴》^[2-4]发布的大田作物种类, 作物主产品加工过程中可产生的副产物包括稻壳、玉米芯、花生壳、棉籽壳、甘蔗渣和甜菜渣是本研究的范围, 不包括麦麸、谷糠等其他精细加工的副产物。

选取2009年这些作物种植面积较大的省份并查阅其推广面积较大的品种的期刊论文, 获得这些品种相应的水稻糙米率、玉米出籽率、花生出仁率、棉籽出壳率、甘蔗茎秆的水分和蔗糖分, 以及甜菜块根的水分和含糖量。每个参数在该作物主产省份的样本数(品种数)一般为3~6个, 通过加权平均获得各省的数据求出该省的平均值。然后根据作物种植区划^[5], 以加权平均法求得每个种植区的平均值, 未获得数据样本的省市自治区则以其种植区的平均值取值。对于无法获得各省数据样本的棉花和甜菜, 则以本研究分别获得的2个样本数据作为各省取值。棉花的衣分取值为38%^[5]。

各省市自治区的作物经济产量数据来自于2007—2009年《中国统计年鉴》^[2-4], 取3年平均值得计算加工副产物的量, 年鉴未统计的作物不在本研究范围内。虽然年鉴中的甘蔗和甜菜产量是鲜重, 本研究中各种加工副产物量的评估结果都是基于干重。

作物加工副产物的热值也是从前人研究结果获得, 用以和标准煤的热值(29 307 kJ/kg^[6])计算获得作物副产物的折标煤系数。从文献获得的加工副产物热值会因测量方法或者测量条件的不同略有差异, 通过将查找所得低位热值数据平均得到某加工副产物的热值。

1.2 加工副产物系数取值方法

加工副产物系数(Process residue factor)是指作物初加工获得的副产物占其经济产量的比值, 不

同作物按照式(1)~(6)计算得到。

$$\text{稻壳系数} = (100 - \text{糙米率}) / 100 \quad (1)$$

$$\text{玉米芯系数} = 100 / \text{出籽率} - 1 \quad (2)$$

$$\text{花生壳系数} = (100 - \text{出仁率}) / 100 \quad (3)$$

$$\text{棉籽壳系数} = \text{棉籽出壳率} / 100 \quad (4)$$

$$\text{甘蔗渣系数} = (100 - \text{含糖量} - \text{水分含量}) / 100 \quad (5)$$

$$\text{甜菜渣系数} = (100 - \text{含糖量} - \text{水分含量}) / 100 \quad (6)$$

以上公式中各加工副产物系数均为大于0、小于1的比值。糙米率、出籽率、出仁率、棉籽出壳率、水分含量和含糖量按常规均为百分含量。

1.3 加工副产物量计算方法

一般情况下, 作物加工副产物量就是其经济产量和加工副产物系数的乘积, 即以式(7)计算。

$$\text{加工副产物量} = \text{经济产量} \times \text{加工副产物系数} \quad (7)$$

唯一例外的是棉籽壳。由于《中国统计年鉴》中棉花的经济产量是指皮棉(干重), 棉籽壳重量应考虑籽棉与皮棉的换算关系, 由式(8)求得棉籽壳量。

$$\text{棉籽壳量} = \text{皮棉产量} \times (100 / \text{衣分} - 1) \times \text{棉籽壳系数} \quad (8)$$

本研究确定的稻壳和花生壳的量的计算方法与谢光辉等人的研究结果^[1]是一致的, 但是, 其余4种作物的加工副产物计算方法在本研究中进行了改进。也就是除以上棉花已说明外, 甘蔗渣系数和甜菜渣系数是基于甘蔗和甜菜的鲜重产量, 使公式能直接利用《中国统计年鉴》的统计数据计算加工副产物量, 而玉米芯系数的计算表达更为准确。

1.4 折算标准煤量计算方法

折标煤系数是指某种加工副产物的热值与标准煤的热值的比值(式(9))。利用此系数可计算出作物加工副产物折算成标准煤的量(式(10)), 便于直观评价其能源利用价值。

$$\text{折标煤系数} = \text{加工副产物热值} / \text{标准煤热值} \quad (9)$$

$$\text{折标煤量} = \text{加工副产物量} \times \text{折标煤系数} \quad (10)$$

2 作物加工副产物系数取值

2.1 稻壳系数

全国各省稻壳系数的取值范围为0.16~0.20, 平均值为0.18(表1)。其中华南双季稻稻作区的稻

壳系数最高(0.20),华中稻作区和西南稻作区则都为0.19。北方稻作区包括东北稻作区、华北稻作区和西北稻作区,仅查到黑龙江糙米率从而得到稻壳系数,该省是北方水稻主产省份,其水稻产量占整个

北方稻作区的一半以上,所以取黑龙江的稻壳系数为北方稻区各省的取值。北方稻作区的稻壳系数最低(0.17)。从全国范围来看,稻壳系数呈现“南高北低”的变化趋势。

表1 中国各省市自治区稻壳系数取值

Table 1 Value-taking for process residue factor of rice husk in the provinces of China

稻作区	省市自治区	糙米率数据来源	样本数	稻壳系数取值
华南双季稻区	广东	[7-9]	3	0.20
	广西	[8-11]	4	0.19
	海南	平均值	7	0.20
华中双单季稻区	江西	[12-16]	5	0.20
	江苏	[17-19]	3	0.16
	安徽	[20-23]	4	0.19
	湖北	[24-27]	4	0.20
	湖南	[27-31]	5	0.18
	四川	[32-35]	4	0.19
	广西	[8-11]	4	0.19
	其余省市区	平均值	29	0.19
西南高原单双季稻区	四川	[32-35]	4	0.19
	湖南	[27-31]	5	0.18
	贵州、云南、西藏	平均值	9	0.19
北方单季稻区	黑龙江	[36-39]	4	0.17
	其余省市区	平均值	4	0.17
全国平均值			49	0.18

2.2 玉米芯系数

各省的取值范围是0.12~0.22,平均值为0.16(表2)。以秦岭淮河为界将我国玉米划分为北方区和南方区,分别确定非主产省市区玉米芯系数的取值。南方区平均值为0.20,北方区平均值为0.14。北方区包括北方春播玉米区、黄淮海夏播玉米区和西北灌溉玉米区,南方区包括西南山地丘陵玉米区、南方丘陵玉米区和青藏高原玉米区。

2.3 花生壳系数

山东、河南、河北和广东四省是我国的花生种植大省,四个省花生壳系数取值范围为0.25~0.30(表3),以这四省的平均值0.27作为全国平均值,其他省市区花生壳系数即取此值。

2.4 棉籽壳系数

目前关于我国棉花棉籽出壳率的研究报道较

少,本研究仅查到郑晓吉等^[91]和章永松等^[90]人的研究结果,计算得到棉籽壳系数平均值0.47,也作为全国各省棉籽壳系数取值(表3)。

2.5 甘蔗渣系数

选取广西和广东栽培面积较大的甘蔗品种,计算其加工副产物系数,其余各省取这两省平均值。计算时统一按照蔗茎含水量70%^[96-97],再通过查找不同品种的蔗糖分计算甘蔗渣含量,作为甘蔗的加工副产物系数(表3),广东、广西取值都为0.16,其他省市的取值也相同。

2.6 甜菜渣系数

按照甜菜块根含有约75%的水分和约20%的不溶性非糖物质^[5,98-99],所以甜菜渣就按甜菜产量的5%进行计算,即甜菜渣系数在各省的取值为0.05(表3)。

表2 中国各省市自治区玉米芯系数取值

Table 2 Value-taking for process residue factor of corn cob in the provinces of China

种植分区	省市自治区	出籽率数据来源	样本数	玉米芯系数取值
北方区	黑龙江	[40-44]	5	0.17
	吉林	[40,44-46]	4	0.15
	山东	[44,47-50]	5	0.13
	河北	[44,47,51-53]	5	0.12
	河南	[44,47,54-56]	5	0.12
	内蒙古	[42,44,57]	3	0.15
	其余省市区	平均值	27	0.14
南方区	云南	[58-61]	4	0.19
	贵州	[62-65]	4	0.22
	四川	[66-70]	5	0.19
	其余省市区	平均值	14	0.20
全国平均值			40	0.16

表3 中国各省市自治区花生壳、棉籽壳、甘蔗渣和甜菜渣系数取值

Table 3 Value-taking for process residue factor of peanut, cotton, sugarcane and sugarbeet in the provinces of China

作物种类	省市自治区	数据来源	样本数	加工副产物系数取值
花生	河北	[71-75]	5	0.25
	河南	[76-80]	5	0.27
	山东	[81-84]	4	0.29
	广东	[85-89]	5	0.30
	其余各省	平均值	19	0.27
棉花	浙江	[90]	1	0.47
	其余各省	平均值,[90-91]	2	0.47
甘蔗	广西	[92-94]	8	0.16
	广东	[92-93,95]	6	0.16
	华南其余各省	平均值	14	0.16
甜菜	北方各省市区	[98-99]	2	0.05
	其余各省	平均值	2	0.05

3 作物加工副产物量及折算标煤量

3.1 作物加工副产物的折标煤系数

从前人文献中取得稻壳、玉米芯、花生壳和甘蔗渣热值的数据样本数在为4~5个,而棉籽壳和甜菜

渣的样本量只有1个(表4)。计算得到各作物加工副产物折标煤系数见表4,为保守评估我国加工副产物资源量,此处各加工副产物的热量均为低位发热量。这6种加工副产物的折标煤系数在0.49~0.61的范围内,稻壳最低。

表4 各种加工副产物热量及折标煤系数

Table 4 Conversion coefficients to standard coal for the process residues

加工副产物类型	数据来源	样本数	平均热量/(kJ/kg)	折标煤系数
稻壳	[100-104]	5	14 224	0.49
玉米芯	[105-108]	4	17 725	0.60
花生壳	[109-112]	4	17 177	0.59
棉籽壳	[113]	1	17 492	0.60
甘蔗渣	[114-117]	4	17 556	0.60
甜菜渣	[118]	1	16 600	0.57

3.2 稻壳产量

2007—2009年平均每年全国共产稻壳3 438.20万t,折算成标准煤为1 684.72万t(表5)。年鉴有统计的30个省市区的稻壳的产量在0.05万t(北京)~451.94万t(湖南)之间,其折标煤量在0.02~

221.45万t之间。其中湖南、江西和湖北稻壳产量超过300万t,江苏、四川、安徽、黑龙江、广西和广东的稻壳产量在207.16~284.58万t之间。稻壳产量较少的省市包括北京、山西、西藏、甘肃、天津、新疆和河北,在0.05~9.67万t之间。

表5 2007—2009年中国各省市自治区年平均稻壳产量及折标煤量

Table 5 Production and standard coal equivalent of rice husk in 30 provinces of China between 2007 and 2009

省市区	稻壳/万t	折标煤/万t	省市区	稻壳/万t	折标煤/万t	省市区	稻壳/万t	折标煤/万t
北京	0.05	0.02	安徽	262.55	128.65	四川	281.04	137.71
天津	1.80	0.88	福建	96.59	47.33	贵州	86.39	42.33
河北	9.67	4.74	江西	371.63	182.10	云南	116.97	57.32
山西	0.07	0.03	山东	18.85	9.23	西藏	0.10	0.05
内蒙古	11.08	5.43	河南	75.40	36.95	陕西	13.52	6.62
辽宁	85.94	42.11	湖北	307.43	150.64	甘肃	0.63	0.31
吉林	89.76	43.98	湖南	451.94	221.45	宁夏	10.85	5.32
黑龙江	255.59	125.24	广东	207.16	101.51	新疆	8.60	4.22
上海	16.80	8.23	广西	213.18	104.46			
江苏	284.58	139.44	海南	28.41	13.92			
浙江	124.39	60.95	重庆	97.04	47.55	中国	3 438.20	1 684.72

3.3 玉米芯产量

我国各省市2007—2009年期间年平均玉米芯量和折标煤量如表6所示。全国总产量达2 571.67万t,折算成标准煤为1 568.72万t。各省玉米芯的产量变化在0.30~293.77万t之间,其折标煤量在0.18~179.20万t之间。其中黑龙江、吉林和山东的玉米芯产量超过240万t,四川、辽宁、河北、河南和内蒙古的玉米芯产量在119.24~195.36万t之间。玉米芯产量较少的省市包括

西藏、青海、上海、江西、海南、浙江和福建,在0.30~2.67万t之间。

3.4 花生壳产量

2007—2009年各省年平均花生壳量和折标煤量如表7所示,全国共产花生壳378.19万t,折算成标准煤为223.13万t。28个省市区的产量在0.05~105.37万t之间,其折标煤量为0.03~62.17万t。其中河南花生壳产量最大,其次是山东产量为96.04万t。再次,江西、辽宁、湖北、四川、安徽、广

表6 2007—2009年中国各省市自治区年平均玉米芯产量及折标煤量

Table 6 Production and standard coal equivalent of corn cob in 31 provinces of China between 2007 and 2009

省市区	玉米芯/万 t	折标煤/万 t	省市区	玉米芯/万 t	折标煤/万 t	省市区	玉米芯/万 t	折标煤/万 t
北京	11.87	7.12	安徽	56.09	33.65	四川	119.24	71.55
天津	12.05	7.23	福建	2.67	1.60	贵州	84.59	50.75
河北	173.17	103.90	江西	1.35	0.81	云南	99.49	59.69
山西	92.28	55.37	山东	243.77	146.26	西藏	0.30	0.18
内蒙古	195.36	117.22	河南	193.26	115.96	陕西	70.17	42.10
辽宁	154.93	92.96	湖北	45.04	27.02	甘肃	38.30	22.98
吉林	284.65	170.79	湖南	26.95	16.17	青海	0.35	0.21
黑龙江	293.77	176.26	广东	13.15	7.89	宁夏	21.13	12.68
上海	0.47	0.28	广西	42.43	25.46	新疆	57.04	34.23
江苏	41.09	24.65	海南	1.46	0.88			
浙江	2.18	1.31	重庆	48.31	28.99	中国	2 571.67	1 543.00

表7 2007—2009年中国各省市自治区年平均花生壳产量及折标煤量

Table 7 Production and standard coal equivalent of peanut hull in 28 provinces of China between 2007 and 2009

省市区	花生壳/万 t	折标煤/万 t	省市区	花生壳/万 t	折标煤/万 t	省市区	花生壳/万 t	折标煤/万 t
北京	0.55	0.32	浙江	1.28	0.75	海南	2.14	1.26
天津	0.08	0.05	安徽	19.32	11.40	重庆	2.00	1.18
河北	33.73	19.90	福建	6.34	3.74	四川	15.30	9.03
山西	0.62	0.37	江西	10.19	6.01	贵州	1.68	0.99
内蒙古	0.82	0.49	山东	96.04	56.66	云南	1.29	0.76
辽宁	11.12	6.56	河南	105.37	62.17	陕西	2.26	1.33
吉林	7.87	4.65	湖北	15.18	8.96	甘肃	0.05	0.03
黑龙江	1.57	0.93	湖南	5.81	3.43	新疆	0.35	0.21
上海	0.08	0.05	广东	24.08	14.21			
江苏	9.73	5.74	广西	9.65	5.69	中国	378.19	223.13

东和河北的花生壳产量在 10.19~33.37 万 t 之间。花生壳产量较少的省市包括北京、天津、山西、内蒙古、甘肃、新疆和上海,都在 1 万 t 以下。

3.5 棉籽壳产量

2007—2009 年期间,全国年均共产棉籽壳 549.37 万 t,折算成标准煤为 329.62 万 t(表 8)。年鉴有统计的 23 个省市自治区棉籽壳产量在 0.04~218.87 万 t 之间,其折标煤量在 0.02~131.32 万 t 之间。其中新疆的棉籽壳产量最高,此外,湖南、江苏、安徽、湖北、河南、河北和山东的棉籽壳产量较高,在 17.96~75.73 万 t 之间。棉籽壳产量较少的

省市包括北京、内蒙古、辽宁、吉林、广西、福建、贵州和上海,均低于 1 万 t。

3.6 甘蔗渣产量

全国在 2007—2009 年间平均每年共产甘蔗渣 1 881.01 万 t,折算成标准煤为 1 128.61 万 t(表 9)。17 个省市自治区甘蔗渣的产量在 0.20~1251.33 万 t 之间,折标煤量在 0.12~750.80 万 t 之间。其中广西作为我国甘蔗种植大省,甘蔗渣产量最大,另外,云南、广东和海南的甘蔗渣产量较高,分别为 274.73、193.76 和 74.87 万 t。除福建、贵州、浙江、湖南和四川(10.30~16.65 万 t)外,其余省市区的

表8 2007—2009年中国各省市自治区年平均棉籽壳产量及折标煤量

Table 8 Production and standard coal equivalent of cotton seed hull in 23 provinces of China between 2007 and 2009

省市区	棉籽壳/万 t	折标煤/万 t	省市区	棉籽壳/万 t	折标煤/万 t	省市区	棉籽壳/万 t	折标煤/万 t
北京	0.11	0.06	江苏	23.74	14.24	湖南	17.96	10.78
天津	6.31	3.79	浙江	2.10	1.26	广西	0.16	0.09
河北	52.83	31.70	安徽	27.70	16.62	四川	1.20	0.72
山西	7.82	4.69	福建	0.04	0.02	贵州	0.06	0.04
内蒙古	0.20	0.12	江西	9.32	5.59	陕西	7.06	4.24
辽宁	0.14	0.08	山东	75.73	45.44	甘肃	8.90	5.34
吉林	0.20	0.12	河南	49.03	29.42	新疆	218.87	131.32
上海	0.21	0.13	湖北	39.65	23.79	中国	549.37	329.62

表9 2007—2009年中国各省市自治区年平均甘蔗渣产量及折标煤量

Table 9 Production and standard coal equivalent of sugarcane bagasse in 17 provinces of China between 2007 and 2009

省市区	甘蔗渣/万 t	折标煤/万 t	省市区	甘蔗渣/万 t	折标煤/万 t	省市区	甘蔗渣/万 t	折标煤/万 t
上海	0.20	0.12	河南	3.50	2.10	重庆	1.81	1.09
江苏	1.44	0.86	湖北	4.04	2.43	四川	16.65	9.99
浙江	11.96	7.17	湖南	12.01	7.21	贵州	10.83	6.50
安徽	3.99	2.40	广东	193.76	116.26	云南	274.73	164.84
福建	10.30	6.18	广西	1 251.33	750.80	陕西	0.29	0.17
江西	9.31	5.58	海南	74.87	44.92	中国	1 881.01	1 128.61

甘蔗渣产量都在 10 万 t 以下。

3.7 甜菜渣产量

2007—2009 年间,全国平均每年产甜菜渣 43.59 万 t,折算成标准煤为 24.85 万 t(表 10)。年鉴有统计的 11 个省市区的甜菜渣的产量在 0.006~

21.85 万 t 之间,其折标煤量在 0.004~12.46 万 t 之间。新疆甜菜渣产量最高,黑龙江、内蒙古、河北、甘肃和山西的甜菜渣产量在 1.00~9.62 万 t 之间。青海、四川和云南甜菜渣产量较低,均少于 0.1 万 t。

表10 2007—2009年中国各省市自治区年平均甜菜渣产量及折标煤量

Table 10 Production and standard coal equivalent of sugarbeet bagasse in 11 provinces of China between 2007 and 2009

省市区	甜菜渣/万 t	折标煤/万 t	省市区	甜菜渣/万 t	折标煤/万 t	省市区	甜菜渣/万 t	折标煤/万 t
河北	2.39	1.36	吉林	0.60	0.34	甘肃	1.14	0.65
山西	1.00	0.57	黑龙江	9.62	5.48	青海	0.02	0.01
内蒙古	6.63	3.78	四川	0.01	0.01	新疆	21.85	12.46
辽宁	0.31	0.18	云南	0.006	0.004	中国	43.59	24.85

3.8 大田作物加工副产物及折标煤总量

全国在 2007—2009 年平均每年产生的加工副产物总量达到 8 862.03 万 t,折标煤量为 4 959.64 万 t(表 11)。各省市区的加工副产物总量在 0.37~

1 516.76 万 t 之间,折标煤量为 0.22~886.93 万 t。其中,广西壮族自治区的加工副产物产量最大,其次,江西、湖北、河南、四川、山东、广东、云南、湖南和黑龙江等省加工副产物产量也较高,在 401.80~

560.56万t之间,再次,内蒙古、辽宁、河北、新疆、江苏、安徽和吉林等省区的产量为214.09~383.08万t,第四,山西、海南、福建、浙江、重庆和贵州等省市的加工副产物产量在101.79~183.55万t之间,

第五,北京、上海、天津、宁夏、甘肃和陕西等省市区的产量较低,为12.57~93.29万t,最后,青海省和西藏自治区的加工副产物相对较少,分别为0.37和0.40万t。

表11 2007—2009年中国各省市自治区年平均加工副产物量及折标煤量

Table 11 Production and standard coal equivalent of process residues in 31 provinces of China between 2007 and 2009

省市 自治区	加工副产物/ 万 t	折标煤/ 万 t	省市 自治区	加工副产物/ 万 t	折标煤/ 万 t	省市 自治区	加工副产物/ 万 t	折标煤量/ 万 t
北京	12.57	7.53	安徽	369.65	192.72	四川	433.46	229.01
天津	20.24	11.94	福建	115.94	58.87	贵州	183.55	100.61
河北	271.78	161.59	江西	401.80	200.10	云南	492.48	282.61
山西	101.79	61.03	山东	434.39	257.60	西藏	0.40	0.23
内蒙古	214.09	127.03	河南	426.56	246.59	陕西	93.29	54.47
辽宁	252.44	141.89	湖北	411.35	212.84	甘肃	49.01	29.30
吉林	383.08	219.88	湖南	514.67	259.03	青海	0.37	0.22
黑龙江	560.56	307.92	广东	438.16	239.87	宁夏	31.98	18.00
上海	17.76	8.80	广西	1 516.76	886.51	新疆	306.73	182.43
江苏	360.58	184.95	海南	106.88	60.98			
浙江	141.90	71.44	重庆	149.17	78.81	中国	8 862.03	4 933.93

4 讨论

4.1 作物加工副产物的概念、研究范围和计算方法

本研究在本课题组系列报道的前一论文^[1]的基础上进一步阐明了作物加工副产物的概念。有前人研究^[119]把加工副产物称为“作物副产品”,笔者认为不妥。因为相对于“作物主产品”(如稻谷),其副产品不但包括粗加工副产物(如稻壳),还包括留在田间的秸秆(如稻秆),即“作物副产品”就是全部“作物秸秆”。

然而,笔者根据我国《中国统计年鉴》公布的作物种类,首次确定了大田作物加工副产物分别是稻壳、玉米芯、花生壳、棉籽壳、甘蔗渣和甜菜渣。进而,本研究给出了与《中国统计年鉴》数据性质相匹配的作物加工副产物量的计算公式。需要指出的是,由于农业机械化快速发展,某些作物的加工副产物会发生变化,比如具有直接脱粒功能的玉米联合收割机已在一些农场应用,玉米芯不再是加工副产物,而是田间秸秆的一部分可能被直接打碎收集或进行还田。本研究改进了加工副产物的计算方法,

使之与统计年鉴中的产量数据直接相乘即得加工副产物量。

4.2 作物加工副产物系数

加工副产物系数直接影响着加工副产物量计算的准确性,决定于水稻的出糙率、玉米的出籽率、花生的出仁率、棉籽的出壳率、甘蔗的蔗糖分和甜菜的含糖量等,受作物的品种影响最大。前人研究作物加工副产物资源量^[119]未详细交待副产物系数的来源和计算方法。本研究以省为单位,通过当前主栽品种、主推省份和种植区划三个层次进行加权平均,得到目前为止最准确的作物加工副产物系数的取值。通过与前人^[119]的研究结果进行对比,稻壳系数从0.27降低为0.18,降幅为30%;玉米芯系数由0.25降低为0.16,降幅为36%;花生壳系数由0.313降为0.27,降幅14%;甘蔗渣系数从0.24下降为0.16,降幅30%;甜菜渣系数从0.08下降为0.05,降幅达38%。这主要是因为我国作物优良品种更新速度快,进而降低了加工副产物系数。

4.3 作物加工副产物数量

因此,本研究对各作物加工副产物的资源量评

估是最接近真实值的。由于对作物加工副产物系数的高估,2005年以来,前人对于加工副产物资源量的研究结果均偏高。前人报道的稻壳年产量为3 600.00^[120]和4 875.98万t^[119],玉米芯的年产量是3 484.13^[119]和4 000.00万t^[121],花生壳的年产量为448.89^[119]和500.00万t^[122],甘蔗渣为2 079.31^[119]和2 873.10万^[123],甜菜渣为63.05万t^[119],上述关于每种作物加工副产物的产量数据均高于本研究结果。本研究首次报道全国各省作物加工副产物资源量,为不同地区生物质资源利用提供依据。

参 考 文 献

- [1] 谢光辉,王晓玉,任兰天. 中国作物秸秆资源评估研究现状[J]. 生物工程学报,2010,26(7):855-863
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 2007[M]. 北京:中国农业出版社,2008
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴 2008[R]. 北京:中国农业出版社,2009
- [4] 国家统计局. 中国统计年鉴 2009[R]. 北京:中国农业出版社,2010
- [5] 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
- [6] GB/T 2589-2008. 综合能耗计算通则[S]. 北京:国家技术监督局,2008
- [7] 陈友订,李传国. 弱感光型杂交稻新组合博优 998 的产量等性状评价[J]. 广东农业科学,2000(3):6-7
- [8] 黄丽君. 杂交稻天优 998 特征特性及抛秧高产栽培技术[J]. 中国农技推广,2008,24(9):21
- [9] 黄慧君,符福鸿,李传国,等. 优质弱感光型杂交晚粳新组合秋优 998[J]. 杂交水稻,2003,18(5):70-71
- [10] 张云飞,夏晓村,叶汪洋. 超级稻“中浙优 1 号”的特征特性及高产栽培技术[J]. 温州农业科技,2008(1):45-46
- [11] 张克建,谢长文,杨松,等. Y 两优 1 号超级杂交稻特征特性及高产栽培技术[J]. 中国农技推广 2008,24(5):16-17
- [12] 龚思海,陈竹林. 赣晚粳 30 号高产优质栽培关键技术[J]. 江西农业科技,2004(7):39-41
- [13] 曾春荣,康淮,潘连生,等. 高产早稻新组合淦鑫 203 的特征特性和高产栽培技术[J]. 江西农业学报,2007,19(4):110
- [14] 彭炳生,贺浩华,严长发,等. 杂交中、晚粳组合淦鑫 688 的种植表现及高产栽培技术[J]. 中国稻米,2006(4):15-16
- [15] 刘兴华,温和植,刘邦祯,等. 杂交早稻组合——金优 463[J]. 江西农业科技,2004(1):45
- [16] 颜满莲,蔡耀辉,毛凌华,等. 杂交早稻“金优 458”的选育及利用[J]. 江西农业学报,2004,16(3):5-8
- [17] 成伟,刘超,王健康,等. 优质高产新品种徐稻 3 号特征特性及无公害生产技术[J]. 安徽农业科学,2004,32(3):430-446
- [18] 陈洪礼,竺厚富,仇圣荣,等. 宁粳 1 号特征特性及优质高产栽培技术[J]. 中国稻米,2007(1):28-29
- [19] 万荣华. 抗条纹叶枯病新品种“南粳 44”特征特性及高产栽培技术[J]. 上海农业科技,2008(3):41
- [20] 李忠耀,梅翠青,王丽娟,等. 武运粳 7 号的特征特性与高产栽培技术[J]. 上海农业科技,1999(1):12
- [21] 江根喜. 水稻扬两优 6 号特征特性及高产栽培技术[J]. 现代农业科技,2009(10):149,152
- [22] 汪继发,王安文,唐淑菊,等. 两系超级杂交稻新两优 6 号在巢湖市的种植表现及高产栽培技术[J]. 农技服务,2010,27(5):557,597
- [23] 邓接楼,王爱斌,涂晓虹. 两系杂交籼稻丰两优 1 号种植表现及高产栽培技术[J]. 安徽农业科学,2006,34(23):6161,6163
- [24] 陆天泰,别耀先,余华强,等. 对照品种扬两优 6 号在中稻区域试验中的表现及应用研究[J]. 农业科技通讯,2010(1):53-55
- [25] 卢开阳,吴和明,卢碧林. 优质中稻两优培九和扬稻 6 号的鉴定[J]. 湖北农业科学,2001(3):9-12
- [26] 彭斯敏,耿延琢,程勤学,等. 丰两优香 1 号在湖北省种植表现及其高产栽培技术[J]. 杂交水稻,2009,24(5):52-53
- [27] 李翔,周圻,何瑞国,等. 金优 402 等 4 种早稻糙米养分含量的研究[J]. 饲料工业,2003,24(10):32-33
- [28] 蒋建为,蒋逊平,谢晓阳,等. 优质杂交水稻新组合岳优 9113 的选育[J]. 湖南农业科学,2005(2):9-11
- [29] 张才兴,许可,许柏青. 金优 207 在永州的种植表现及高产栽培技术[J]. 湖南农业科学,2003(4):33-34
- [30] 吴厚雄,宁鹏,谢军,等. 杂交早籼金优 402 主要特征特性与高产栽培技术[J]. 种子,2004,23(3):71-72,79
- [31] 邓小林. 优质高产杂交水稻:T 优 207[J]. 农技服务,2004(3):19
- [32] 周玉祥,周俊,王宗炎,等. 杂交中稻冈优 725 特征特性及栽培技术[J]. 湖北农业科学,1999(6):9
- [33] 于启闽,罗财荣. 优质超级杂交稻 Q 优 6 号在福建将乐示范种植表现及高产栽培技术[J]. 杂交水稻,2008,23(4):45-46
- [34] 杜金泉. 杂交稻新组合:II 优 838[J]. 四川农业科技,1996(6):8
- [35] 邓文敏,杨成明,邓达胜. 中熟杂交中稻新组合:辐优 838[J]. 杂交水稻,1998,13(1):30
- [36] 林秀华,刘凤艳,刘传琴,等. 三江一号与空育 131 综合性状调查对比分析[J]. 垦殖与稻作,2006(5):13-14
- [37] 黄少锋,刘华昭,李建华,等. 优质高产水稻新品种垦稻 12 特征特性与栽培技术[J]. 黑龙江农业科学,2007(4):116
- [38] 孙淑红. 早熟优质丰产水稻龙粳 20 特征特性及关键栽培技术[J]. 黑龙江农业科学,2010(1):128-129
- [39] 孙海正,徐希德,孙淑红,等. 寒地水稻新品种龙粳 26 的特征特性及栽培技术[J]. 作物杂志,2009(5):116
- [40] 赵书茂,周世兴,关术平. 玉米杂交种先玉 335 高产优质栽培技术[J]. 农业与技术,2010,30(5):75-76
- [41] 孔凡杰. 玉米新品种吉单 27 引进及配套栽培技术研究[J]. 农业科技通讯,2011(2):103-104
- [42] 徐万陶,张显明,叶双虎,等. 粮饲兼用型玉米新品种兴垦 3 号[J]. 中国种业,2002(11):46

- [43] 杜永生. 不同种植密度对龙单 32 玉米产量及主要性状的影响[J]. 现代农业科技, 2010(9):42,47
- [44] 张作然, 刘恩来, 龚德荣. 中早熟玉米郑单 958 特征特性及高产栽培技术[J]. 农技服务, 2009, 26(1):9
- [45] 宋雷, 宋雨, 缪玲敏, 等. 玉米杂交种良玉 88 号选育及栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2010(3):117-119
- [46] 孙太石, 曲庆生, 蔡大勇, 等. 宏育 29[Z]. 国家科技成果, 2009
- [47] 陈文云, 单兴翠, 刘惠萍, 等. 玉米品种浚单 20 的特征特性与高产栽培技术[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(5):86, 64
- [48] 曹修才, 侯廷荣, 张桂阁, 等. 高产优质玉米新品种聊玉 18 号及选育体会[J]. 山东农业科学, 2002(4):31-32
- [49] 刘晨阳. 玉米品种金海 5 号高产又稳产[J]. 河北农业科技, 2008(5):9
- [50] 许启凤. 优质、高产玉米新品种农大 108 的选育与推广[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1):25-26
- [51] 孙海昆, 杨密珠, 焦宏业, 等. 杂交玉米新品种邯丰 79[J]. 农业科技通讯, 2006(7):32
- [52] 王卫红, 杨国航, 刘春阁, 等. 玉米品种“京单 28”特点及高产栽培技术[J]. 北京农业, 2008(36):1-3
- [53] 孙玉华. 杂交玉米蠡玉 35 特征特性及栽培技术[J]. 现代农业科技, 2010(11):69
- [54] 王义波, 彭泽斌, 姜书贤, 等. 中科 4 号玉米新品种选育及其产业化开发[Z]. 国家科技成果, 2010
- [55] 何革命, 张光昱. 鲁单 981 特征特性及高产栽培技术[J]. 南阳农业科技, 2002(3):26
- [56] 张守林, 程立新, 常建智, 等. 紧凑型玉米新品种浚单 22 特征特性及栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2007(11):69-70
- [57] 徐军. 高淀粉玉米品种:四单 19 号[J]. 现代农业, 1994(1):22
- [58] 杨志雄. 优良玉米杂交品种:会单 4 号[J]. 农村实用技术, 2003(1):32
- [59] 中国农业推广网. 云南省盐津县玉米示范基地主推品种“扎单 202”栽培技术要点[EB/OL]. (2011-03-30) <http://www.farmers.org.cn/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=103725>, 2011
- [60] 刘有祥. 杂交玉米兴黄单 89-2 不同种植密度探讨[J]. 耕作与栽培, 2003(2):43
- [61] 赵吉奎, 顾红波, 昂有林, 等. 丰产稳产广适玉米品种路单 8 号的选育及应用[J]. 作物杂志, 2011(3):131-132
- [62] 王玉龙, 魏成熙, 刘鸿雁, 等. 杂交玉米新品种(组合)试验初报[J]. 种子, 2000(3):36-37
- [63] 李兴华. 玉米新品种:蠡玉 6 号[J]. 天津农林科技, 1999(2):18
- [64] 汪雍, 卢云昌. 杂交玉米新品种产量对比试验的综合评价[J]. 贵州农机化, 2007(3):26-27
- [65] 王瑛, 李求文, 王黎明. 恩施山区杂交玉米新组合比较试验[J]. 湖南农业科学, 2007(5):52-54
- [66] 宋殿珍, 张文忠, 刘景秀, 等. 中晚熟玉米单交种潞玉 13 的选育报告[J]. 玉米科学, 2005(13):79-81
- [67] 成贵明. 玉米良种东单 60[J]. 农家致富, 2004(7):24
- [68] 肖家雄. 国审玉米新品种中单 808[J]. 中国种业, 2006(10):63
- [69] 新农村商网. 优质高产玉米杂交种[川单 15 号][EB/OL]. (2009-07-14) <http://nc.mofcom.gov.cn/news/P1P45I10169386.html>, 2011
- [70] 宋波, 吴纪昌, 王岗, 等. 多抗晚熟玉米杂交种东单 80 号及栽培技术[J]. 中国种业, 2010(7):83
- [71] 申保芳. 麦套花生冀花 4 号高产栽培技术[J]. 河北农业科技, 2008(16):11
- [72] 苏兴智, 马广前. 花生新品种:鲁花 11 号[J]. 当代农业, 1996(4):14
- [73] 甘信民, 曹玉良. 大花生新品种鲁花 14 号[J]. 中国油料, 1996, 18(4):69
- [74] 齐丽雅, 何孟霞, 陈永建, 等. 花生新品种邢花 5 号的选育[J]. 河北农业科学, 2009, 13(6):59-60
- [75] 徐桂真. 高产优质花生新品种冀花 2 号[J]. 花生科技, 1998(4):31-32
- [76] 田实, 魏俊杰. 花生主推品种、搭配品种及其栽培技术[J]. 吉林农业, 2004(10):10
- [77] 许天育. 远杂 9102 花生高产栽培要点[J]. 河南农业, 2007(11):6
- [78] 薛彦霞. 改良花生品种海花 1 号高产栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2010(8):183-184
- [79] 吴继华, 肖召杰, 苏瑞峰, 等. 早熟高产高油花生新品种豫花 15 号[J]. 中国种业, 2005(8):65
- [80] 汤丰收, 卢超. 优质高产花生新品种豫花 11 号[J]. 河南农业科学, 1999(3):11-12
- [81] 禹山林, 闵平. 优质出口专用花生新品种:花育 19 号[J]. 农业新技术, 2003(4):30
- [82] 万勇善. 高产优质抗病大花生丰花 1 号[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(1):38
- [83] 马英建, 张玉钦, 李顺庆, 等. 花育 22 号特征特性与高产栽培技术[J]. 山东农业科学, 2005(2):24
- [84] 史惠平, 李跃, 王继国, 等. 大花生丰花 3 号的特征特性和高产栽培技术[J]. 农技服务, 2007, 24(4):19
- [85] 黄荣元, 曾南海. 花生新品种:粤油 7 号[J]. 福建农业, 2008(3):12
- [86] 郑奕雄, 陈贤友. 花生品种汕油 27 的育成与配套栽培技术[J]. 汕头科技, 2000(3):19-21
- [87] 郑奕雄, 陈贤友. 花生新品种汕油 71 的选育[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(4):9-11
- [88] 何志伟. 粤油 79[J]. 湖南农业, 2003(4):12
- [89] 郑奕雄, 陈贤友. 花生抗锈高产品种汕油 523 的选育研究[J]. 广东农业科学, 1996(3):19-20
- [90] 章永松, 林咸永, 何念祖. 钾对棉籽成分与品质的影响[J]. 浙江农业大学学报, 1998, 24(1):35-38
- [91] 郑晓吉. 综述棉籽的深加工及综合利用[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(11):55-57
- [92] 徐建云. 新台糖 22 号等 8 个甘蔗品种的种性研究[J]. 广西农业生物科学, 2004, 4(23):285-290
- [93] 陈超君, 徐建云, 陈传华, 等. 四个引进甘蔗品种生长特性研究初报[J]. 广西蔗糖, 2004(1):3-8
- [94] 黄家雍. 甘蔗新品种桂糖 21 号的生产性能及配套栽培技术[J]. 中国种业, 2006(9):73-74
- [95] 刘福业, 邓海华, 杨俊贤, 等. 早中熟甘蔗新品种粤糖 94-128 种

- 性分析[J]. 中国糖料, 2008(2): 25-27
- [96] Vekariya P D, 肖坤贵. 叶鞘含水量对甘蔗蔗汁品质的影响[J]. 四川甘蔗, 1991(4): 30-31
- [97] 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
- [98] Bassam N E. Energy plant species, their use and impact on environment and development[M]. London: James and James (Science Publishers) Ltd., 1998
- [99] 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
- [100] Mansaray K G, Ghaly A E. Determination of kinetic parameters of rice husks in oxygen using thermogravimetric analysis[J]. Biomass and Bioenergy, 1999, 17(1): 19-31
- [101] Natarajan E, Nordina A, Rao A N. Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors[J]. Biomass and Bioenergy, 1998, 14(5-6): 533-546
- [102] Armesto L, Bahillo A, Veijonen K, et al. Combustion behaviour of rice husk in a bubbling fluidised bed [J]. Biomass and Bioenergy, 2002, 23(3): 171-179
- [103] Zhao Yijun, Sun Shaozeng, Hongming Tian, et al. Characteristics of ricehusk gasification in an entrained flow reactor[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(23): 6040-6044
- [104] Zhang Yaning, Li Bingxi, Li Hongtao, et al. Thermodynamic evaluation of biomass gasification with air in autothermal gasifiers[J]. Thermochimica Acta, 2011, 519(1-2): 65-71
- [105] Ioannidou O, Zabaniotou A, Antonakou E V, et al. Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(4): 750-762
- [106] Lu Y, Jin H, Guo L, et al. Hydrogen production by biomass gasification in supercritical water with a fluidized bed reactor [J]. Hydrogen Energy, 2008(33): 6066-6075
- [107] 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
- [108] Boateng A A, Mtui P L. CFD modeling of space-time evolution of fast pyrolysis products in a bench-scale fluidized-bed reactor [J]. Applied Thermal Engineering, 2012, 33-34: 190-198
- [109] Ooi Chin Chin, Kamal M Siddiqui. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures[J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 18(3): 223-228
- [110] Koyuncu T, Pinar Y. The emissions from a space-heating biomass stove[J]. Biomass and Bioenergy, 2007, 31(1): 73-79
- [111] Erol M, Haykiri-Acma H, Kbayrak S. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data [J]. Renew Energy, 2010, 35: 170-173
- [112] Kitani O, Hall C W. Biomass Handbook [M]. New York: Gordon and Breach science publishers, 1989
- [113] Magasiner N, de Kock J W. Design criteria for fibrous fuel fired boilers[J]. Energy World, 1987(8/9): 4-12
- [114] Asadullah M, Miyazawa T, Ito S, et al. Gasification of different biomasses in a dual-bed gasifier system combined with novel catalysts with high energy efficiency [J]. Appl Catal, 2004, 267: 95-102
- [115] Miles T R, Miles T R Jr, Baxter L, et al. Alkali deposits found in biomass power plants. A preliminary investigation of their extent and nature[R]. NREL/TP-433-8142, 1995: 82
- [116] Miles T R Jr, Miles T R. Alkali deposits found in biomass power plants; A preliminary investigation of their extent and nature. Summary report[R]. NREL/TZ-2-11226-1
- [117] Walfrido Alonso-Pippo, Carlos A Luengo, John Koehlinger, et al. Sugarcane energy use: The Cuban case [J]. Energy Policy, 2008, 36(6): 2163-2181
- [118] http://edv1.vt.tuwien.ac.at/AG_HOFBA/BIOBIB/Biobib.htm, 1997
- [119] 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
- [120] 李琳娜, 应浩, 孙云娟, 等. 我国稻壳资源化利用的研究进展 [J]. 生物质化学工程, 2010, 44(1): 34-38
- [121] 徐淑芬. 浅谈玉米芯的综合利用[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21(17): 174-175
- [122] 孙丰文, 张茜, 李自峰. 花生壳综合利用的研究进展[J]. 山东林业科技, 2008(6): 84-88
- [123] 郑勇, 王金丽, 李明, 等. 热带农业废弃物资源利用现状与分析—甘蔗废弃物综合利用[J]. 2011(1): 15-18, 26