

王雨辰,陈 浮,朱 伟,等. 江苏省秸秆资源量估算及其区域分布研究[J]. 江苏农业科学,2013,41(6):305-310.

江苏省秸秆资源量估算及其区域分布研究

王雨辰,陈 浮,朱 伟,曾远文

(中国矿业大学/江苏省资源环境信息工程重点实验室,江苏徐州 221116)

摘要:以正确评价江苏省秸秆资源量及其分布特性、充分认识江苏省秸秆资源的开发潜力为目的,以草谷比法为基础方法,选取经过修正的秸秆草谷比数据,对江苏省秸秆资源进行全面系统的估算;利用 ArcGIS、因子分析和聚类分析等地理信息技术和统计方法,对江苏省秸秆资源量的区域分布规律进行探讨。研究结果显示,2010 年江苏省理论上可产出秸秆资源量约 3.176×10^7 t,可收集量约为 3.049×10^7 t,将 2010 年江苏省产的秸秆资源全部能源化,相当于节省 1.496×10^7 t 标准煤;水稻秸秆占总量 49%,小麦秸秆约占 26%,玉米、棉花秸秆约占 7%。江苏省秸秆资源分布水平呈 5 种梯度类型,全省表现“东密西疏、北丰南贫”的资源分布特点。

关键词:秸秆资源;估算;区域分布;江苏省;草谷比;ArcGIS;聚类分析

中图分类号: S216.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)06-0305-06

近几年,为了应对日益突出的能源危机和气候变化,我国已通过立法将可再生能源开发利用列为能源发展的优先领域^[-2]。江苏省作为一个农业、经济和能源消费大省^[3],其丰富的生物质能资源的开发利用显得尤为重要,特别是农作物秸秆资源,若将其合理高效地利用起来,不仅能够促进农业和农村经济可持续发展,减少污染,还能为建立资源节约型社会的能源工程提供新途径^[4]。但是由于秸秆资源分布比较分散、统计起来比较困难,到目前为止,对江苏省秸秆资源量缺乏系统研究,影响了江苏省秸秆资源的综合利用。针对这些问题,笔者对江苏省农作物秸秆作了详细调查和系统研究,根据调查结果及建立的秸秆资源评价指标体系,对江苏省农作物秸秆进行了全面、科学的评价。

1 研究方法

1.1 评价指标

根据农业部提供的秸秆资源评价体系取 4 项指标:理论资源量、可收集资源量、人均秸秆资源占有量和资源密度^[5]。

1.1.1 理论资源量(theoretical output) 依据农作物的经济产量和草谷比等因素估算出某一地区理论上的农作物秸秆年总产量(草谷比法^[4]),即理论资源量,该指标的计算公式为:

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

式中: P 为某地区农作物秸秆的理论资源量; i 为农作物秸秆种类编号, $i = 1, 2, \dots, n$; λ_i 为某地区第 i 种农作物秸秆的草谷比; G_i 为某地区第 i 种农作物的年产量。

1.1.2 可收集资源量(collected output) 该指标主要通过收集系数来确定,计算公式为:

收稿日期:2012-11-23

基金项目:国家自然科学基金(编号:51074154);江苏高校优势学科建设工程资助项目(编号:SZBF2011-6-B35)。

作者简介:王雨辰(1989—),女,河南鹤壁人,硕士研究生,主要研究方向为秸秆资源可持续利用及节能减排。E-mail: wangyc8905@163.com。

通信作者:陈 浮,博士,教授。E-mail: chenfu@cumt.edu.cn。

$$P_c = \sum_{i=1}^n \eta_{i,1} \cdot P \quad (2)$$

式中: P_c 为某地区农作物秸秆资源可收集量; $\eta_{i,1}$ 为某地区第 i 种农作物秸秆的收集系数; P 为理论资源量。

1.1.3 人均资源占有量(the per capita share of straw resources) 某一区域人均秸秆资源占有数量表明了该地区秸秆资源的相对丰富程度。

$$P_e = P_c (\text{or } P) / R \quad (3)$$

式中: P_e 为某一地区人均秸秆资源占有量; R 为某一地区人口总数; P_c 为某地区农作物秸秆资源可收集量; P 为某地区农作物秸秆的理论资源量。

1.1.4 资源密度(resources density) 本研究选择单位土地面积秸秆资源密度和单位播种面积秸秆资源密度作为考察指标。

1.2 数据来源和处理

本研究所有计算数据均来自相关统计年鉴资料和相关研究数据。区域分布以县(区)为单元,利用上述方法和公式首先计算各县(区)秸秆资源的各项指标值,再利用 ArcGIS 和 SPSS 软件对其区域分布进行分析。

1.3 重要参数的确定

1.3.1 草谷比(ratio of straw to grain)的确定 草谷比是指某种农作物单位面积的秸秆产量与籽粒产量的比值^[6]。整理相关研究中不同文献的草谷比数据见表 1,本研究草谷比体系见表 2。

1.3.2 可收集系数(collection coefficient)的确定 可收集系数是指可收集利用的秸秆重量占农作物茎秆总生物量(即秸秆总产量)的比重^[28]。本研究在确定各种农作物秸秆资源的可收集系数时,仅对小麦、水稻和玉米按不同的收获方式进行了区别计算,其他的可收集系数由于数据有限可根据其他文献的研究成果计算。2010 年机收方式所占比重见表 3,不同收获方式的留茬高度数据见表 4,本研究的可收集系数见表 5。

2 结果与分析

2.1 江苏省秸秆资源量总体评估

结合“1.1”中的计算公式和 1949—2010 年江苏省农作

表 1 综合文献草谷比系数

作物种类		草谷比系数					
小麦	0.73 ^[7-9]	0.82 ^[10]	1.030 ^[11]	1.08 ^[12]	1.1 ^[4,13-16]	1.18 ^[6]	1.28 ^[17-18]
玉米	0.5 ^[25-26]	0.9 ^[7]	0.95 ^[6]	1.02 ^[27]	1.04 ^[22-23]	1.2 ^[4,13-14,21]	1.247 ^[17]
水稻	0.623 ^[19-20]	0.68 ^[8-9]	0.78 ^[7]	0.9 ^[4,13-14,21]	0.95 ^[18]	0.952 ^[17]	0.97 ^[11]
高粱	0.5 ^[25]	1.44 ^[11]	1.6 ^[4,13,27]	2 ^[15-16]	—	—	—
大豆	0.588 ^[25]	0.67 ^[26]	1.38 ^[22-23]	1.39 ^[6]	1.5 ^[20,17-18,27]	1.6 ^[13,16,21]	1.71 ^[11]
薯类	0.5 ^[4,13,16-18,20-21]	0.577 ^[22-23]	0.61 ^[11]	1.2 ^[12,15]	1 ^[25-26]	—	—
花生(油料作物)	0.5 ^[26]	0.67 ^[25]	0.8 ^[4,13,21]	0.9 ^[6]	1.14 ^[22-23]	1.5 ^[16]	1.52 ^[11]
芝麻(油料作物)	0.5 ^[25]	2.01 ^[22-23]	2.212 ^[4,13,17]	2 ^[18,20]	3 ^[11,15-16]	—	—
油菜(油料作物)	0.33 ^[25]	0.64 ^[11]	1.01 ^[8]	1.29 ^[7]	1.5 ^[14]	1.5 ^[4,13]	112.8 ^[21]
棉花	0.33 ^[25-26]	1.613 ^[24]	2.61 ^[22-23]	3.136 ^[17]	3.4 ^[14]	3.53 ^[7]	3 ^[11-12,14-16,18,20]
麻类	0.73 ^[7-9]	0.82 ^[10]	1.030 ^[11]	1.08 ^[12]	1.1 ^[4,13-16]	1.18 ^[6]	1.28 ^[17-18]
甘蔗	0.5 ^[25-26]	0.9 ^[7]	0.95 ^[6]	1.02 ^[27]	1.04 ^[22-23]	1.2 ^[4,13-14,21]	1.247 ^[17]

作物种类		草谷比系数					
小麦	1.366 ^[19-20]	1.37 ^[21]	1.38 ^[22-23]	1.77 ^[24]	1 ^[25-27]	—	—
玉米	1.25 ^[8-9,18]	1.269 ^[24]	1.37 ^[11]	2 ^[12,15-16,19-20]	—	—	—
水稻	0.98 ^[27]	1.04 ^[22-23]	1.07 ^[12]	1.08 ^[10]	1.1 ^[6,15]	1.323 ^[24]	1 ^[16,25-26]
高粱	—	—	—	—	—	—	—
大豆	2 ^[4,14-15]	—	—	—	—	—	—
薯类	—	—	—	—	—	—	—
花生(油料作物)	2 ^[12,15]	—	—	—	—	—	—
芝麻(油料作物)	—	—	—	—	—	—	—
油菜(油料作物)	2.03 ^[10]	2.85 ^[22-23]	2.985 ^[24]	2 ^[19]	3 ^[16]	6 ^[12,15]	—
棉花	32.6 ^[21]	5.51 ^[8-9]	9.2 ^[4,13]	—	—	—	—
麻类	1.366 ^[19-20]	1.37 ^[21]	1.38 ^[22-23]	1.77 ^[24]	1 ^[25-27]	—	—
甘蔗	1.25 ^[8-9,18]	1.269 ^[24]	1.37 ^[11]	2 ^[12,15-16,19-20]	—	—	—

表 2 本研究草谷比体系

作物种类	草谷比系数		
	平均值 ^①	重要文献参考值的平均值 ^②	本研究取值 ^③
小麦	1.137	1.075	1.075
玉米	1.257	0.985	0.985
水稻	0.963	0.984	0.984
高粱	1.436	1.6	1.6
大豆	1.437	1.413	1.413
薯类	0.667	0.644	0.526 ^④
花生	1.029	0.81	0.81
芝麻	2.122	2.14	2.14
油菜	1.959	1.97	1.959
棉花	8.418	5.335	9.2 ^⑤
麻类	1.199	1.725	1.725
甘蔗	1.684	0.43	0.43

注:①是指由表 1 得该作物草谷比值的平均值;②是指选取由实地试验得到数据的论文的草谷比值再一次平均而得的数据(选取的重要文献为[4]、[10]、[13]、[22]、[23]、[26]);③通过对所列文献数据来源进行研究对比而甄选出相对精确的草谷比数据;④因差异较大而剔除[26]中数据选取剩下 5 篇文献中数据的平均值;⑤由于各研究棉花草谷比的差别过大,选取毕于运的研究数据^[4]。

表 3 2010 年我国主要农作物机收面积及其占播种面积的比重^[21]

作物种类	机收面积(万 hm ²)	机收比重(%)
小麦	2 145.604	88.46
水稻	1 926.676	64.50
玉米	837.953	25.78

表 4 主要农作物平均留茬高度

作物种类	平均株高(cm)	人工收割留茬高度(cm)	机械收割留茬高度(cm)
小麦	85 ^[28]	6 ^[28]	25 ^[29-31]
水稻	100	7	16
玉米	250	6	15

注:水稻和玉米的相关数据取自《秸秆资源评价与利用研究》^[4]。

物产量等数据进行估算,可得到 1949—2010 年江苏省农作物秸秆资源总量及其变化趋势。由图 1 可知,江苏省秸秆资源量随着农作物产量的变化而呈波动式增长。2010 年江苏省主要农作物的播种面积约 7.620×10⁷ hm²,产量达到 3.424×10⁷ t,理论上约可产出 3.716×10⁷ t 秸秆,秸秆可收集量约为 3.049×10⁷ t。

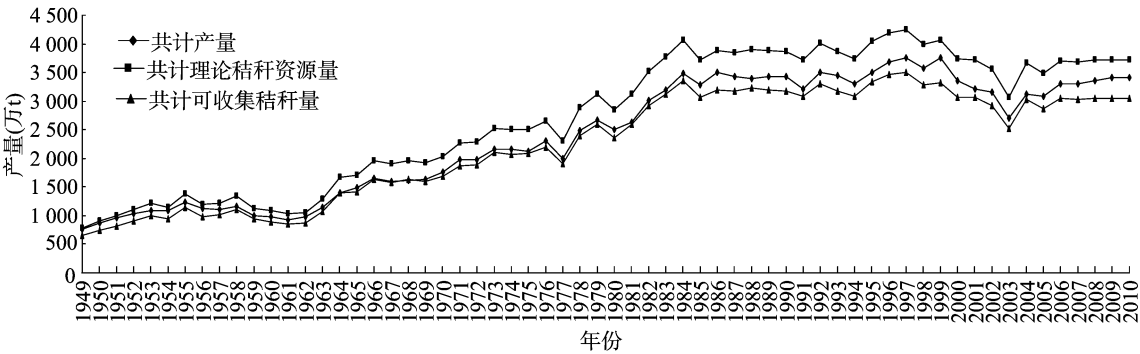
从 2010 年度江苏省秸秆资源结构角度分析,水稻秸秆资源最为丰富,年产量达到 1.548×10⁷ t,约占秸秆资源总量的 49%;其次,小麦秸秆资源约占总量的 26%;再次玉米、棉花秸秆资源约占总量的 7%。产生这种结果的原因与江苏省本身的种植结构有很大关系,江苏省是全国粳稻第一大省^[34],水稻种植面积比例为 29.32%;小麦也是江苏主要粮食作物之一,其播种面积比例为 27.47%;玉米、棉花和油料作物的播种面积比例分别为 5.3%、3.09%和 7.54%。

能源化利用是秸秆综合利用的重要途径和方式^[35]。综合 1990—2010 年江苏省能源消耗和秸秆可收集资源量(图 2)发现,若将该部分秸秆资源全部能源化(不同作物秸秆能源化的折标准煤系数见表 6),则可相对节省一部分其他能源

表 5 主要农作物可收集系数

资料来源	主要农作物可收集系数											
	水稻	小麦	玉米	豆类	薯类	其他粮食作物	花生	油菜籽	芝麻	棉花	麻类	糖料作物
文献[32]	0.78	0.76	0.95	0.75	0.75	0.75	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
文献[28]	0.83	0.83	—	0.88	—	—	0.85	0.85	0.85	0.9	0.87	0.88
文献[27]	0.83	0.61	0.91	0.87	—	0.9	—	—	—	—	—	—
文献[33]	0.85	0.85	0.91	0.81	—	—	—	—	—	—	—	—
文献[4]	0.8	0.65	0.95	0.56	0.73	—	0.83	0.64	0.83	0.86	0.85 ^①	0.97
平均值	0.818	0.74	0.93	0.774	0.74	0.825	0.86	0.797	0.86	0.887	0.873	0.917
本研究取值 ^②	0.87	0.73	0.97	0.774	0.74	0.825	0.86	0.797	0.86	0.887	0.873	0.917

注：①取该文献中 5 种麻类的平均值；②水稻、小麦和玉米的可收集系数是根据表 3、表 4 和江苏省 2010 年统计年鉴中的数据计算得到的，其他数据取自参考数据平均值。



1949—2010年江苏省农作物产量根据历年《江苏省统计年鉴》相关数据获得

图1 1949—2010年江苏省农作物产量与秸秆资源量

资源,就 2010 年来说,江苏省全年一次能源消费总量相当于约 2.58×10^8 t 标准煤^[36],而秸秆可收集资源量约为 3.049×10^7 t,若该部分秸秆资源全部能源化相当于节省约 1.496×10^7 t 标准煤。

表 6 主要农作物秸秆资源折标准煤系数^[37]

作物种类	折标准煤系数 (kg 标准煤/kg)	作物种类	折标准煤系数 (kg 标准煤/kg)
薯类	0.429	大豆	0.543
花生	0.500	棉花	0.543
油菜籽	0.500	稻	0.429
麻类	0.500	麦	0.500
甘蔗	0.500	玉米	0.529

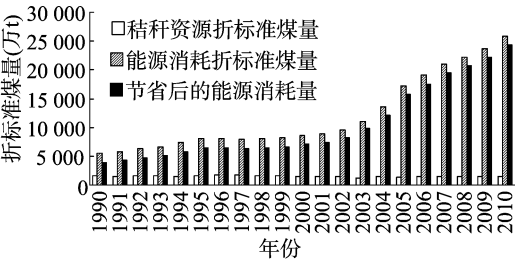


图2 1990—2010年秸秆资源能源化与江苏省全年一次能源消费总量对比

2.2 江苏省秸秆资源区域分布

2.2.1 秸秆资源量 由图 3 可知,资源量由南向北呈递增趋

势,苏南、苏中、苏北秸秆资源量分别占全省总量的 13.9%、26.1%、60.0%,苏北地区可收集量约 2 052 万 t,是苏南地区(476 万 t)的 4.3 倍。其中位于江苏省东部和北部地区的县(市、区)总量资源最为丰富,分别是淮安市区、泰州的兴化市、盐城的射阳县和大丰市、宿迁的沭阳县。

2.2.2 秸秆资源丰度 人均秸秆资源占有量是衡量是否能将秸秆资源分散式能源化利用的重要指标,就江苏全省而言(图 4)呈枣核状分布,即以淮安市、盐城市为中心向南北方递减;从区域角度看,苏北、苏中、苏南依次递减,苏北人均可收集秸秆资源量约是苏南的 2 倍,苏北、苏中、苏南的人均可收集量分别为 1 085、916、530 kg/人。其中,盐城市射阳县、大丰市人均可收集量在 2 300 kg/人以上,相当于全省平均水平的 2.7 倍左右。苏州市人均可收集量在 60 kg/人左右,只有全省平均水平的 6.9%。

从农村人口的角度分析,苏北、苏中和苏南地区的乡村人口占全省乡村人口的比例分别为 46%、23%和 31%,而苏北、苏中和苏南地区的人均可收集资源量是全省平均水平的 146%、127%和 51%。从中可以看出,苏南地区虽然乡村人口约占全省的 1/3,但人均资源占有量很少,不适合发展规模化秸秆能源产业。

2.2.3 秸秆资源密度 秸秆资源密度是指单位土地面积秸秆产量,反映了一个地区的秸秆资源的丰富程度。2010 年江苏省平均秸秆资源分布密度为 337 t/km^2 。盐城市的建湖县是全省秸秆资源密度最高的地区,2010 年平均水平达到约 539 t/km^2 ,相当于全省平均水平的 1.6 倍。苏州市区人均秸

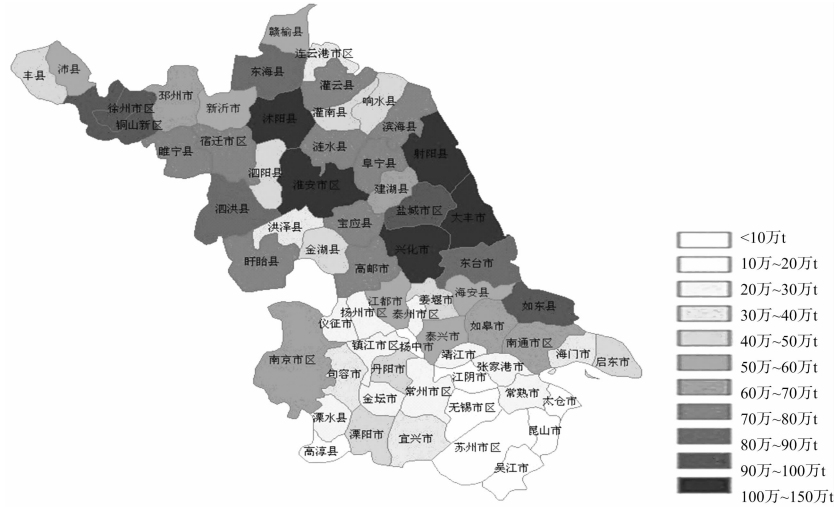


图3 2010年江苏省各县(市、区)秸秆资源可收集量分布现状

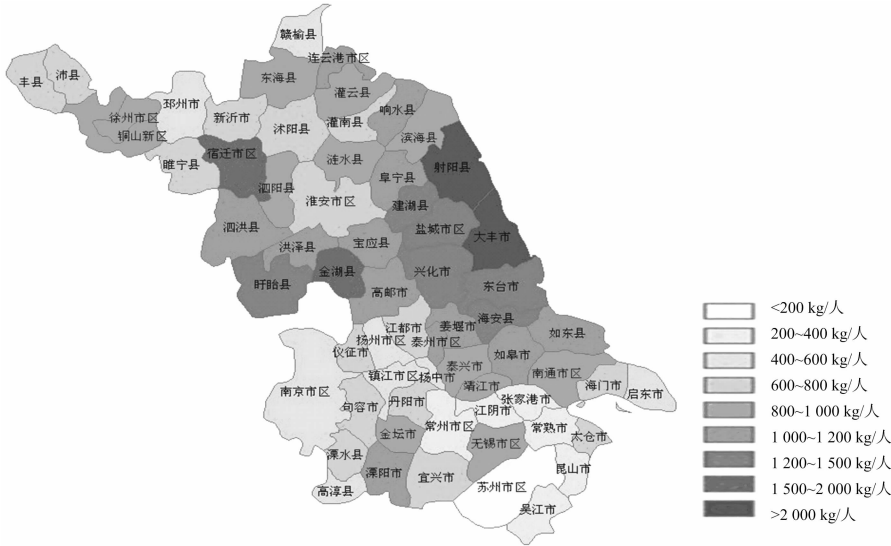


图4 2010年江苏省各县(市、区)人均资源占有量

秆可收集量为 16 t/km², 为全省最低, 只有全省平均水平的 4.7%。由图 5 可见, 江苏省各县(市、区)之间的秸秆资源密度差异较大, 整体上呈现苏中、苏北、苏南地区逐步递减的规律, 产生这种现象的原因主要是农业生产效率、土壤自然条件

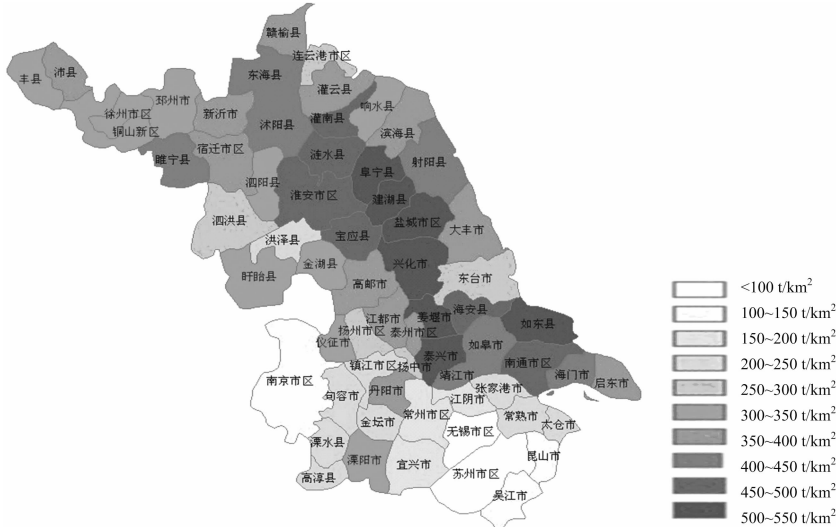


图5 2010年江苏省各县(市、区)单位土地面积秸秆资源占有量(产量)

和土地利用类型不同。苏南是江苏省经济发展最迅速的地区,第二产业已经成为该区域的主导产业,其主要的土地利用类型也相应地从农用地逐步转为城镇建设用地等。与苏北地区相比,苏中地区自然条件相对优越,农业机械化程度较高,农业生产效率较高,因此就产生了秸秆资源总量虽不比苏北地区多,但单位土地秸秆资源量却高出 12% 的现象。

单位播种面积秸秆产量反映了一个地区单季农作物的秸秆产出能力,是判断规模化秸秆产业布局的重要因素^[33]。从

图 6 可以看出,该指标量的分布趋势为以盐城市区、泰州的宝应县等 5 个县(市、区)为中心向四周逐渐递减,江苏省 2010 年平均单位播种面积秸秆可收集量为 432 t/km^2 。盐城市射阳县的单位播种面积秸秆可收集量达到 570 t/km^2 ,为全省最高;而苏州市区的单位播种面积秸秆可收集量为 248 t/km^2 ,是全省平均的 57%,为全省最低。苏中、苏北、苏南这 3 个区域的单位播种面积秸秆可收集量分别为 459、451、 381 t/km^2 ,呈现递减趋势。

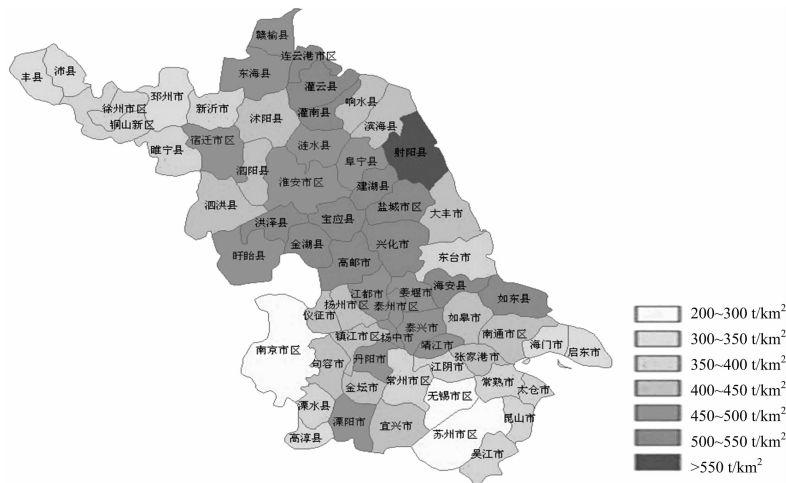


图6 2010年江苏省各县(市、区)单位播种面积秸秆资源占有量(产量)

3 江苏省秸秆资源的综合评价

本研究采用因子分析与聚类分析相结合的方法,对上述分析过程中出现的总量指标、密度指标和人均指标在各区域的分布情况进行进一步分析。首先以 SPSS 13.0 为工具,以秸秆资源总量、单位土地面积秸秆可收集量、单位播种面积秸

秆可收集量和人均秸秆可收集量为指标进行因子分析,其中 4 个因子的特征值贡献率分别为 66.84%、14.70%、13.28%、5.19%;再以方差贡献率为权重系数,计算秸秆资源的综合得分,并在此基础上进行标准化,以得到的综合标准化数据为指标再进行聚类分析。最终结果显示,江苏省秸秆资源分布水平呈现 5 种梯度类型(图 7)。

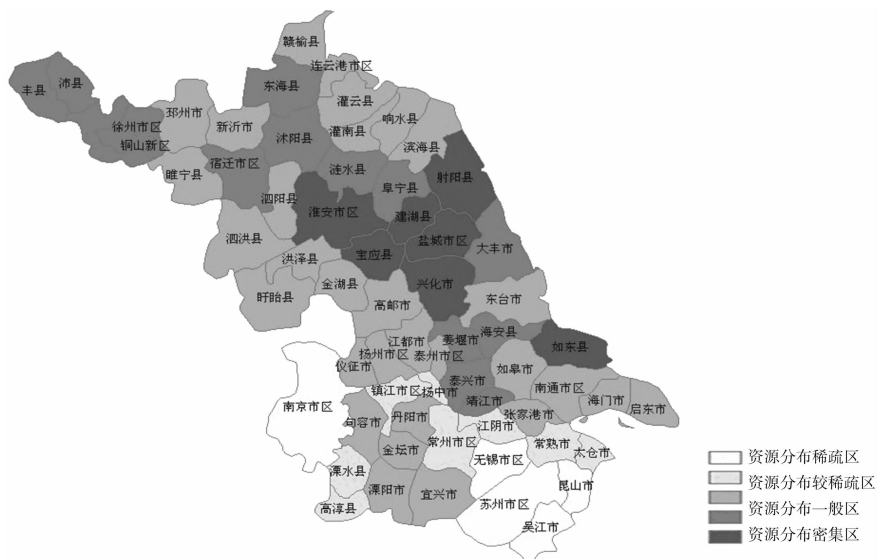


图7 江苏省秸秆资源综合分区

(1)资源分布密集区:主要以盐城市射阳县、建湖县、大丰市和泰州市兴化市等 8 个县(市、区)为代表。这些地区位于黄淮平原区和里下河平原区内,土壤有机质含量高,农作物产量高。(2)资源分布较密集区:主要由苏北徐州市、宿迁市和苏中泰州市中的 12 个县(市、区)组成。(3)资源分布一般

区:主要由位于苏北和苏中的一些农业相对不是很发达的 30 个县(市、区)组成。(4)资源分布较稀疏区与资源分布稀疏区:主要由位于苏南经济发达的 13 个县(市、区)组成,其中资源分布较稀疏区有 8 个,资源分布稀疏区有 5 个。

4 研究结论及建议

合理估算江苏省秸秆资源的数量和分布是开发利用生物质能源的前提条件,有极其重要的现实意义。本研究利用草谷比法估算出了江苏省的秸秆资源量,并得出资源分布区域类型,结果表明:(1)江苏省秸秆资源量随着农作物产量的变化而呈波动式增长,2010 年理论上约可产出秸秆资源量 3.716×10^7 t,可收集量约为 3.049×10^7 t,将 2010 年江苏省产的秸秆资源全部能源化,相当于节省 1.496×10^7 t 标准煤;其中,水稻秸秆资源最为丰富,约占秸秆资源总量的 49%;其次为小麦秸秆资源,约占总量的 26%;玉米、棉花秸秆约占总量的 7%。(2)资源总量由北向南呈递减趋势,苏北、苏中、苏南的秸秆资源量分别占全省总量的 60%、26%、14%。资源丰度呈枣核状分布,即呈以淮安、盐城为中心向南北方逐渐递减的趋势。秸秆资源空间分布规律为苏中、苏北、苏南地区依次递减,其中除苏南以外的区域呈“东高西低”的趋势。江苏省秸秆资源分布水平呈 5 种梯度类型:资源分布密集区、资源分布较密集区、资源分布一般区、资源分布较稀疏区和资源分布稀疏区。江苏全省呈现“东密西疏、北丰南贫”的资源分布特点。

江苏省是中国经济最发达的沿海省份之一,经济发展的背后是对能源需求的日益增大,解决能源供需矛盾的有效途径之一就是江苏省秸秆资源能源化和产业化。将苏北、苏中丰富的秸秆资源能源化,不仅能够解决苏南地区能源缺口问题,还能带动苏北、苏中地区的经济发展,是个协调江苏省区域经济平衡发展的方法。因此,江苏省秸秆能源产业化发展应得到各级政府的高度重视,对其进行统筹规划,合理布局。

参考文献:

- [1] 王久臣,戴林,田宜水,等. 中国生物质能产业发展、现状及趋势分析[J]. 农业工程学报,2007,23(9):276-282.
- [2] 江泽民. 对中国能源问题的思考[J]. 上海交通大学学报,2008,42(3):345-359.
- [3] 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.
- [4] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 中国农业科学院,2010.
- [5] 全国农作物秸秆资源调查与评价工作手册[S]. 北京:农业部科技教育司,农业部规划设计研究院,2009:46-48.
- [6] 万发春,刘晓牧,朱鑫,等. 2009 年中国主要粗饲料产量分析[J]. 饲料工业,2010,31(16):59-60.
- [7] 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[J]. 太阳能,2006(2):9-15.
- [8] 农业部规划设计研究院. 农作物秸秆能源化利用资源调查与评价研究[EB/OL]. (2012-02-10)[2012-11-01]. http://www.nea.gov.cn/2012-02/10/c_131402402.htm.
- [9] 毕于运,王亚静,高春雨. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J]. 农机化研究,2010(3):1-7.
- [10] 王雪萍,高建峰. 江苏省吴江市秸秆资源调查与评价报告[J]. 科技信息,2010(1):1031-1033.
- [11] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报,2002,18(3):87-91.
- [12] 丁美,籍春蕾,邹碧莹,等. 基于 BP 神经网络的江苏省秸秆资源量预测[J]. 资源科学,2011,33(11):2197-2203.

- [13] 毕于运,高春雨,王亚静. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报,2009,25(12):211-217.
- [14] 牛若峰,刘天福. 农业技术经济手册(修订本)[M]. 北京:中国农业出版社,1993.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 丁文斌,王雅鹏,徐勇. 生物质能源材料——主要农作物秸秆产量潜力分析[J]. 中国人口·资源与环境,2007,17(5):84-89.
- [18] 李铁冰,杨改河,楚莉莉,等. 中国农村户用沼气主要发酵原料资源量的估算[J]. 资源科学,2009,31(2):231-237.
- [19] 李京京. 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,1998:56-60.
- [20] 李京京,张鲁江. 中国农村地区可持续发展能源战略研究:中国农村地区中长期能源需求预测研究[J]. 农业工程学报,1998,14(2):26-31.
- [21] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料 2010[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
- [22] 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]. 中国农业大学学报,2011,16(1):1-8.
- [23] 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]. 中国农业大学学报,2011,16(1):9-17.
- [24] 张福春,朱志辉. 中国作物的收获指数[J]. 中国农业科学,1990,23(2):83-87.
- [25] 刘刚,沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报,2007,22(1):9-19.
- [26] 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.
- [27] 崔胜先,谢光辉,董仁杰. 灰色系统理论在黑龙江省农作物秸秆可收集量预测中的应用[J]. 东北农业大学学报,2011,42(8):123-130.
- [28] 王亚静,毕于运,高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学,2010,43(9):1852-1859.
- [29] 孙成和,孔庆俊. 麦秸秆机械化还田与水稻机插秧集成技术[J]. 农机科技推广,2010(7):43-44.
- [30] 李成浩,潘跃. 留茬高度对收割机作业效率和成本影响分析[J]. 农业装备技术,2010,36(1):37-38.
- [31] 尹辉,张恩和,王琦,等. 春小麦留茬处理对复种油菜产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(2):83-88.
- [32] 杨艳丽,张培栋. 山东省秸秆资源储量及其分布特征评价[J]. 可再生能源,2011,29(4):144-149.
- [33] 姚宗路,赵立欣,田宜水,等. 黑龙江省农作物秸秆资源利用现状及中长期展望[J]. 农业工程学报,2009,25(11):288-292.
- [34] 王才林. 江苏省水稻育种与生产现状及发展趋势[J]. 江苏农业科学,2005(2):1-6.
- [35] 江苏省秸秆综合利用规划[R]. 南京:江苏省发展和改革委员会,江苏省农业委员会,2009.
- [36] 宋晓华,邵生余. “天花板”逼出江苏能源新结构[EB/OL]. (2011-04-19)[2012-11-01]. <http://news.cntv.cn/20110419/113360.shtml>.
- [37] 中国能源年鉴编辑委员会. 中国能源年鉴:2008[M]. 北京:科学出版社,2008.