

## 宁夏河东灌区秸秆资源量估算及其收集路径分析

郝玉航<sup>1</sup>, 王德全<sup>1,2,3\*</sup>, 陈浩<sup>1</sup>, 王旭晨<sup>1</sup>, 刘钦<sup>1</sup>, 丁凯<sup>1</sup>, 苏小燕<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏银川 750021; 3. 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 宁夏银川 750021)

**摘要** 通过对宁夏河东灌区 2016—2020 年秸秆的调查研究得知, 灌区秸秆的主要来源为小麦、玉米、水稻。采用草谷比理论计算方法, 对宁夏河东灌区秸秆的资源量进行估算, 结果表明, 宁夏河东灌区秸秆的资源量从大到小依次为玉米秸秆>水稻秸秆>小麦秸秆。通过对废弃秸秆的收集路径进行了简单的分析, 提出了分散型和集中型 2 种秸秆收集方式, 并以无害化处理和资源化利用为目标, 探讨了适宜技术经济条件下废弃秸秆的收集路径。

**关键词** 宁夏河东灌区; 秸秆资源量; 计算方法; 收集路径; 草谷比

**中图分类号** S38 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)08-0175-04

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.08.049



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Estimation of Straw Resources in Hedong Irrigation Area of Ningxia and Analysis of Its Collection Path

HAO Yu-hang<sup>1</sup>, WANG De-quan<sup>1,2,3</sup>, CHEN Hao<sup>1</sup> et al (1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Engineering Research Center for Efficient Utilization of Modern Agricultural Water Resources in arid Areas, Ministry of Education, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwestern China, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract** Through the investigation and research on the straw in the Hedong irrigation area of Ningxia from 2016 to 2020, it is known that the main sources of straw in the irrigation area were wheat, corn and rice. The straw-to-grain ratio theoretical calculation method was used to estimate the resource amount of straw in Hedong Irrigation Area of Ningxia. The results showed that the resource amount of straw in Hedong Irrigation Area of Ningxia were corn straw > rice straw > wheat straw. Through the simple analysis of the collection path of waste straw, two kinds of straw collection methods (decentralized type and centralized type) were put forward. With the goal of harmless treatment and resource utilization, the collection path of waste straw under the appropriate technical and economic conditions was discussed.

**Key words** Hedong irrigation area of Ningxia; Straw resources; Calculation method; Collection path; Straw-to-grain ratio

生物质能作为一种可再生能源, 已被世界公认为继煤炭、石油、天然气之后的第四大能源, 秸秆在其中占比最为重要<sup>[1]</sup>。据了解, 2020 年我国主要农作物秸秆理论产生量 12.64 亿 t, 可收集量 11.32 亿 t, 利用量 10.50 亿 t, 秸秆综合利用率约为 83%。宁夏作为西部地区重要组成部分之一, 其秸秆的资源量也不容忽视。根据宁夏统计局 2020 年统计年鉴了解到, 2020 年宁夏农作物的种植面积约为 76.80 万 hm<sup>2</sup>, 农作物产生秸秆总量 456.6 万 t, 其中水稻、小麦、玉米、蔬菜的播种面积分别为 6.81 万、10.78 万、29.98 万、13.12 万 hm<sup>2</sup>, 尽管宁夏地区的秸秆利用率已经达到 80%, 但仍有 20% 没有得到很好的利用<sup>[2]</sup>。据了解, 秸秆中含有大量的营养成分, 7 亿 t 秸秆中含氮 350 万 t、磷 80 万 t、钾 800 万 t, 相当于 2010 年全国化肥施用总量的 20% 左右<sup>[3-4]</sup>。

狭义的秸秆资源是指收获农作物后田间剩余的农业副产品; 而广义的秸秆资源包括田间秸秆和农产品初加工过程中产生的副产品, 花生壳、玉米芯、稻壳、甘蔗渣等都属于广义秸秆资源的范畴<sup>[5]</sup>。国内不少学者对作物秸秆资源的种类、数量、区域分布以及气候变化对秸秆资源的影响进行研

究, 但大都使用草谷比法来进行秸秆资源量的估算<sup>[6-10]</sup>。左旭等<sup>[11]</sup>采用草谷比方法计算了玉米秸秆的产量占全国的 60.42%, 主要分布在我国的东北及黄淮海地区。罗峰等<sup>[12]</sup>采用草谷比方法估算了甘肃中部地区秸秆的资源量, 结果表明其秸秆资源量丰富, 且呈现增长趋势, 但因其秸秆的利用方式不尽合理, 利用效率相对低下。该研究运用草谷比方法对宁夏河东灌区进行理论的资源量估算, 并探讨适宜经济下农作物秸秆的收储路线, 以提高宁夏地区秸秆资源量的利用。

### 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 宁夏河东灌区位于宁夏回族自治区银川平原东南部, 灌区南北长 60 km, 东西宽 30 km, 总面积约为 900 km<sup>2</sup>, 包括利通区、灵武市、青铜峡市的部分乡镇(图 1)。河东灌区地处温带干旱区, 属典型的温带干旱大陆性气候, 日照充足, 年太阳总辐射量为 580~626 kJ/cm<sup>2</sup>, 无霜期较长, 为 140~158 d。多年平均降雨量为 182 mm, 多年平均蒸发量为 1 176 mm, 是降雨量的 6.46 倍, 年际变化相对较小。灌区多年平均气温 8 ℃, 日温差一般为 10~12 ℃, 年均风速为 1.9 m/s, 冬季盛行西北风, 夏季多为偏南风, 春秋两季风向多变。灌区种植的农作物主要为水稻、小麦、玉米, 种植业相对发达, 因此秸秆的资源量也相对丰富。

**1.2 数据来源** 该研究的农作物产量数据均来源于宁夏统计局的统计年鉴(2016—2020 年)。不同的地区对秸秆的草谷比系数的选择有所不同(表 1), 该研究中农作物草谷比系数采用国家发展改革委办公厅公布的《关于开展农作物秸秆综合利

**基金项目** 宁夏回族自治区 2018 年科技惠民计划项目(2018CMG03020); 2020 年自治区重点研发计划项目(2020BBF02004); 宁夏水利工程一流学科重点项目(NXYLXK2021A03)。

**作者简介** 郝玉航(1997—), 男, 河南禹州人, 硕士研究生, 研究方向: 农村环境保护、水环境保护。\* 通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事旱区水环境、农村环境保护、废弃物资源化利用研究。

**收稿日期** 2021-08-11; **修回日期** 2021-09-08

用规划终期评估的通知》中的草谷比系数来进行计算,其中水稻的草谷比系数采用谢光辉等<sup>[13]</sup>的 1.03 来进行计算。



图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

表1 我国不同地区农作物草谷比系数和可收集系数

Table 1 Grass-grain ratio coefficient and collectible coefficient of crops in different regions of China

主要农区 Main agricultural area	省、区、市 Province, district, city	玉米 Corn	水稻 Rice	小麦 Wheat
华北农区 North China Agricultural Area	北京、天津、河北、山西、内蒙古、山东、河南	1.73	0.93	1.34
东北农区 Northeast Agricultural Area	辽宁、吉林、黑龙江	1.86	0.97	0.93
长江中下游农区 Agricultural areas in the middle and lower reaches of the Yangtze River	上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南	2.05	1.28	1.38
西北农区 Northwest Agricultural Area	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	1.52	—	1.23
西南农区 Southwest Agricultural Area	重庆、四川、贵州、云南、西藏	1.29	1.00	1.31
南方农区 Southern Agricultural Area	福建、广东、广西、海南	1.32	1.06	1.38
可收集系数 Collectible coefficient		0.80	0.65	0.92

**1.3 秸秆资源量的计算方法** 秸秆产量的统计方法常用的有草谷比法、副产品比重法、经济系数法 3 种<sup>[14]</sup>。该研究采用草谷比法来进行计算,草谷比( $S_c$ )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,用公式表示为:

$$S_c = W_s / W_p \quad (1)$$

式中, $S_c$  为草谷比; $W_s$  为农作物秸秆产量; $W_p$  为农作物经济产量。

由公式(1)可知,在草谷比和农作物经济产量已知的条件下,可用公式(2)计算农作物秸秆产量:

$$W_s = S_c \times W_p \quad (2)$$

秸秆的可收集利用量:

$$TR_B = \sum_{i=1}^n (R_i \times e_i \times r_i) \quad (3)$$

式中, $R_i$  为第  $i$  类农作物产量; $e_i$  为第  $i$  类草谷比系数; $r_i$  为第  $i$  类可收集系数。

## 2 结果与分析

**2.1 农作物产量** 根据 2016—2020 年宁夏统计年鉴可知,宁夏河东灌区的主要农作物为水稻、小麦、玉米,其中玉米的产量最高,为 176.45 万 t,占比为 58.37%,其次是水稻,为 105.45 万 t,占比为 34.88%,最后是小麦,为 20.41 万 t,占比 6.75%。在

这 5 年中,小麦和水稻的产量分别在 2017 和 2018 年达到最高,分别为 6.72 万和 23.31 万 t,随后呈现下降的趋势;而玉米的产量在这 5 年中相对稳定,变化幅度不大(图 2)。

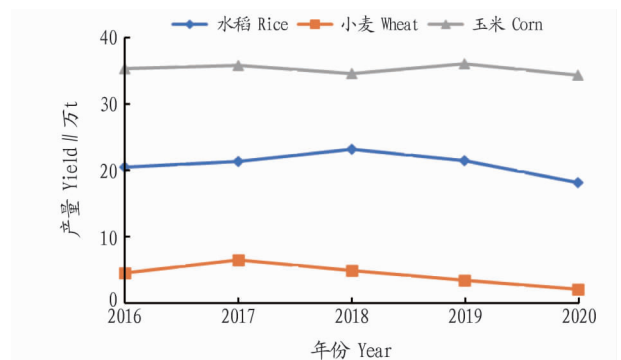


图2 2016—2020 年宁夏河东灌区主要农作物产量变化

Fig.2 Changes of the yield of main crops in Hedong Irrigation Area of Ningxia from 2016 to 2020

**2.2 农作物秸秆理论资源量估算** 从图 3 可以看出,2016—2020 年宁夏河东灌区农作物秸秆资源量呈现先上升再下降的趋势,2016—2018 年农作物秸秆总量呈现上升的趋势,从 2016 年的 80.91 万 t 增加至 2018 年的 84.89 万 t,增长率为 4.92%;2018—2020 年呈现下降趋势,2020 年农作物秸秆的

资源量为 74.17 万 t, 下降率为 12.63%。其中变化幅度最大的为小麦秸秆, 由 2016 年的 5.87 万 t 先上升至 2017 年的 8.28 万 t, 然后减少至 2020 年的 2.93 万 t, 减少了 50.08%。2016—2020 年主要农作物秸秆理论资源量从大到小依次为玉米秸秆(268.18 万 t) > 水稻秸秆(108.62 万 t) > 小麦秸秆(28.03 万 t)。水稻和小麦虽然在这 5 年间有所起伏, 但整体变化幅度不大。需要值得注意的是, 2020 年小麦、水稻、玉米秸秆资源量是这 5 年间最少的, 其原因可能是受恶劣天气和干旱条件的影响较大。

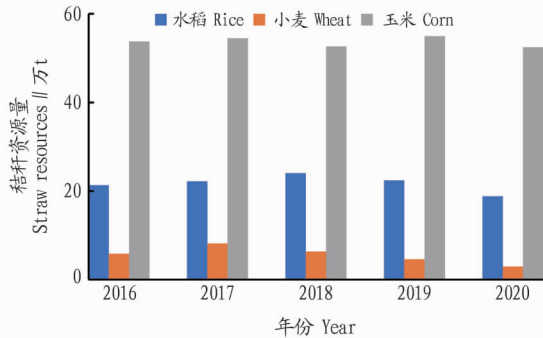


图3 2016—2020年宁夏河东灌区农作物秸秆资源量变化

Fig.3 Variation of crop straw resources in Hedong Irrigation Area of Ningxia from 2016 to 2020

**2.3 农作物秸秆可收集资源量估算** 从图4可以看出, 2016—2020年宁夏河东灌区的农作物秸秆可收集资源总量为310.93万t, 其中玉米的可收集资源量最多, 为214.54万t, 占69.00%; 其次为水稻(70.6万t), 占22.71%, 最后为小麦(25.79万t), 占8.29%。这3种农作物秸秆可收集资源量小麦的变化幅度最大, 由2016年的5.40万t减少至2020年的2.69万t; 变化幅度次之为水稻, 在2018年达到这5年的顶峰, 为15.61万t, 然后减少到2020年12.25万t; 玉米秸秆的可收集资源量最为稳定, 平均每年的秸秆可收集资源量为

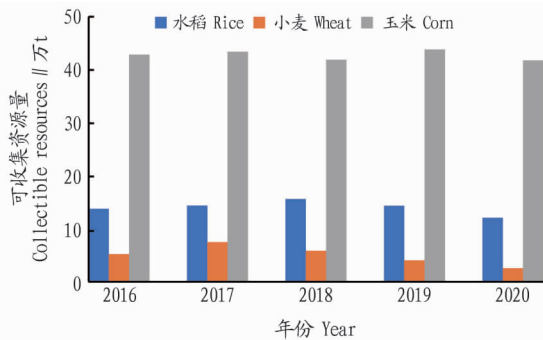


图4 2016—2020年宁夏河东灌区农作物秸秆可收集资源量变化

Fig.4 Changes of collectible resources of crop straws in Hedong Irrigation Area of Ningxia from 2016 to 2020

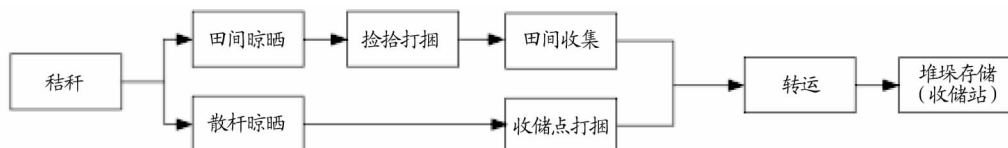


图5 农户分散收集流程

Fig.5 Flow of farmers' scattered collection

42.90 万 t 左右。

**2.4 秸秆收集路径分析** 秸秆收集具有收集难、储运难、成本高等突出问题, 因此有效地解决收储运问题对提高秸秆的资源化利用至关重要。欧美等国家有完整的农业现代化收储体系, 一般都是秸秆收集公司直接对农场主签订合同, 规定交货日期、供货数量以及质量等标准化内容, 能保证秸秆的持续供应, 并且在秸秆的收集、打包、晾晒、运输等过程中实现了完全的机械化操作<sup>[15]</sup>。如丹麦、瑞士等国家, 它们的农作物种植场地集中, 以大型农场为主, 且农民经过了正规的培训, 能够熟练地操作大型机械化设备, 其秸秆的收集运输成本相对较为合理, 同时也节省了人力等成本<sup>[16]</sup>。对于国内的收储运体系来说, 白延飞<sup>[17]</sup>总结了江苏省3种典型的收集模式(经纪人分散性收集模式、合作社专业性收集模式、规模化企业自营行收贮运模式), 其中合作社与规模化收贮运模式是以企业为主体, 负责向周围的村镇集中收集, 按照每年25t的收储量计算, 每年能为农户带来直接的经济收入为2500万元。朱新华等<sup>[18]</sup>总结了陕西省3种典型收集模式(自收自用模式、分散收储模式、集约化收储模式), 其中分散收储和集约化收储模式均是以秸秆经纪人或秸秆收储公司为主体, 他们一般有完整的收储机械和收储体系, 能实施大规模范围的秸秆收集, 并能较高地实现秸秆资源化利用, 且能为农民带来一些可观的经济收入。针对以往各位学者的研究, 并结合宁夏河东灌区的一些相关情况, 总结出分散收集和集中收集2种收集模式。

(1) 分散收集。农作物收获后, 田间的秸秆主要是被农户收集, 农户先在田间进行晾晒, 由于秸秆具有水分多、易燃、易腐等特点, 农户自己先进行晾晒, 一方面可以减少秸秆的水分, 有效地降低秸秆发霉、发腐等现象, 另一方面为后边的打捆过程做准备。晾晒完后就是打捆, 由于农村打捆的机械化设备有所差异, 有一些地方的打捆机械可以直接在田间打捆, 有的则不行, 所以就有2种打捆方式: ①能在田间打捆的直接在田间打捆, 然后再收集、运输堆垛、存储; ②不能在田间打捆的就散装运输到收储点进行打捆, 然后直接存储起来, 具体流程如图5所示。

(2) 集中收集。秸秆公司或秸秆经纪人直接到村或镇中进行收集, 他们一般有自己的收储机械。先是用秸秆收割机进行收割, 然后进行揉搓或揉切, 再然后进行打捆, 对于一些偏远地区, 大型机械化设备不易进入, 直接散装运输到收储点。打捆完后就是运输、装载、资源化利用。秸秆公司或秸秆经纪人对收集到的秸秆一般都会有质量的要求, 对于不符合要求的则由农户收集后运输到附近的秸秆处理厂进行处理, 具体流程如图6所示。

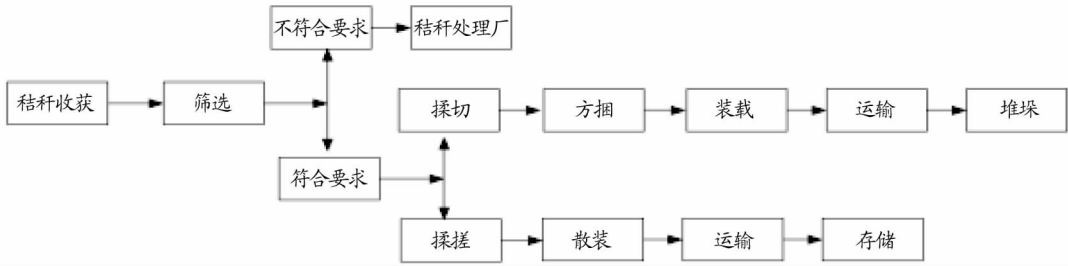


图6 集中收集流程

Fig.6 Flow of centralized collection

### 3 讨论

**3.1 宁夏河东灌区秸秆资源量评价** 宁夏河东灌区作为宁夏重要的灌区之一,每年都会产生众多的废弃秸秆,对于这些秸秆宁夏地区并没有使其得到很好的利用,通过草谷比方法估算出宁夏 2016—2020 年秸秆的资源量,对宁夏河东灌区的资源化利用来说具有重要的意义。秸秆中含有众多的营养元素,如 N、P、K、纤维素等,作为一种可再生的能源物质,对解决人类未来能源危机具有极其重要的作用。如宁夏的众多地方都有养殖业,秸秆可以作为一种有效的青贮饲料,有效地缓解了人畜争粮的问题。随着国家政策的支持和科学技术的发展,截至 2020 年,宁夏地区秸秆的综合利用率已经达到了 85.15%,并且初步形成了“种植户+加工配送+养殖户”的饲料生产加工体系,这对宁夏地区秸秆利用是一项重大的突破<sup>[19]</sup>。

**3.2 宁夏河东灌区收集体系的评价** 由于前人对秸秆的收集体系研究较少,导致人们对秸秆的收集体系重视程度不够。徐亚云等<sup>[20]</sup>通过对不同收运储体系进行研究,结果表明秸秆的收运成本一般在 120~260 元/t,并且秸秆收集在 50 t 以下的使用人工收集更为经济合理,而秸秆收集超过 50 t 的应该用大型机械更为经济。王雪等<sup>[21-22]</sup>研究了收储运输的费用,结果表明秸秆运输费用平均约为 5.4 元/t 且运输距离在 50 km 以内最为高效经济。该研究结合宁夏河东全区的情况,对秸秆的收集体系进行了简单分析,初步提出了 2 种收集方式,可以有效地提高秸秆的资源化利用效率,为以后秸秆收集体系作出初步探讨。

### 4 结论与建议

(1) 宁夏河东灌区主要的农作物秸秆来源是小麦、水稻、玉米。根据相关计算每年有大量的秸秆产生,其中玉米秸秆最多。

(2) 秸秆的资源量估算受地区、环境、计算方法的影响较大,目前的估算系数比较老旧,随着社会的发展,应重新对各农作物秸秆的相关系数进行测量,并在进行秸秆资源量的估算时应根据相关情况选择合理的计算方法及相应的系数,以准确地估算出秸秆的资源量。

(3) 农作物秸秆之所以收集利用难,是因为政策方面不够完善,科学技术方面研究不足,人们对秸秆的收集意义认识不到位。为了提高秸秆的收集效率,在政策方面,政府应

该完善相关政策,加大秸秆收集的宣传意识,并增加对秸秆收集的补贴。在科学技术方面,应加大在设备研发方面的投入,以减少人力、物力方面的投入,降低收储的成本。在收储体系方面,应加大并重视收储体系的研究,运用科学的方法找到最优的收储体系,以最少的成本收获最多的秸秆。

### 参考文献

- [1] 王军,蒋剑春:推动第四大能源大发展[J].科学中国人,2014(13):58-59.
- [2] 黄海伟,孙涛:宁夏农作物秸秆综合利用情况的调研报告[J].共产党人,2018(12):44-47.
- [3] 汪可欣,付强,张中昊,等:秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土区土壤环境的影响[J].农业机械学报,2016,47(3):131-137.
- [4] KUMAR S, KADONO A, LAL R, et al. Long-term no-till impacts on organic carbon and properties of two contrasting soils and corn yields in Ohio[J]. Soil science society of American journal, 2012, 76(5): 1798-1809.
- [5] 许山晶:我国农村秸秆资源利用的综合效应评价[D].北京:中国社会科学院研究生院,2020.
- [6] 熊伟,杨婕,马占云:气候变化对中国主要农作物秸秆资源的影响[J].资源科学,2010,32(10):1926-1931.
- [7] 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.
- [8] 冉继伟,宋爱兰,田彦芳,等:我国作物秸秆资源时空变化特征及其影响因素分析[J].农业现代化研究,2021,42(3):418-429.
- [9] 顾克军,张斯梅,许博,等:江苏省水稻秸秆资源量及其可收集量估算[J].生态与农村环境学报,2012,28(1):32-36.
- [10] 那伟,郝登宝,赵新颖,等:吉林省玉米秸秆资源量估算及其利用的自然适宜性分析[J].安徽农业科学,2018,46(36):61-63.
- [11] 左旭,王红彦,王亚静,等:中国玉米秸秆资源量估算及其自然适宜性评价[J].中国农业资源与区划,2015,36(6):5-10,29.
- [12] 罗峰,张浩珍,杨婕好,等:甘肃中部地区秸秆资源产量及潜力估算[J].草原与草坪,2021,41(1):113-118,125.
- [13] 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.
- [14] 毕于运:秸秆资源评价与利用研究[D].北京:中国农业科学院,2010.
- [15] 徐亚云,侯书林,赵立欣,等:国内外秸秆收储运现状分析[J].农机化研究,2014,36(9):60-64,71.
- [16] 吴娟娟,霍丽丽,赵立欣,等:国内外农作物秸秆供应模型研究进展[J].农机化研究,2016,38(3):263-268.
- [17] 白延飞:加快构建秸秆收储运体系促进秸秆产业化发展[J].江苏农机化,2010(5):25-28.
- [18] 朱新华,杨中平:陕西省秸秆资源收储体系研究[J].农机化研究,2011,33(7):69-72.
- [19] 宁夏农作物秸秆综合利用率达到 85.15%[J].农村百事通,2020(3):27.
- [20] 徐亚云,田宜水,赵立欣,等:不同农作物秸秆收储运模式成本和能耗比较[J].农业工程学报,2014,30(20):259-267.
- [21] 王雪,常志州,王效华,等:泗洪县车门乡稻麦秸秆收储设施选址[J].农业工程学报,2015,31(22):250-255.
- [22] 檀勤良,杨海平,张兴平,等:生物质发电燃料收集成本测算模型及实证分析[J].中国科技论坛,2014(5):117-123.