

# 农村户用沼气发酵原料产气潜力及区划研究

陈 豫<sup>1</sup>, 胡 伟<sup>1</sup>, 杨改河<sup>2</sup>, 张培栋<sup>3</sup>

(1. 宜宾学院 作物学研究所, 四川 宜宾 644000;

2. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 青岛科技大学 环境与安全工程学院, 山东 青岛 266042)

**摘要:**结合能值潜力估算动物数据库模型,建立了中国农村户用沼气主要发酵原料理论户均产气潜力估算模型。并利用该模型对 2007 年中国农村主要沼气发酵原料理论户均产气潜力进行了估算。结果表明:发酵原料理论户均产气潜力居前五位的是西藏、青海、吉林、内蒙古和新疆,均高于 2 300 m<sup>3</sup>/a,其中西藏高达 9 492 m<sup>3</sup>/a,山西、上海、福建、广东、重庆、陕西和浙江发酵原料理论户均产气潜力较低,均低于 540 m<sup>3</sup>/a。在此基础上,构建了农村户用沼气发酵原料区划指标,对中国各地农村沼气发酵原料理论户均产气潜力进行分区,划分为沼气发酵原料最适宜区、适宜区、次适宜区和非适宜区。根据区划结果,形成了中国农村户用沼气发酵原料适宜性区划图。

**关键词:**户用沼气; 发酵原料; 产气潜力; 区划

中图分类号:S216.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0266-05

## Research on Production Potential and Regionalization of Household Biogas Fermentation Materials in Rural Area of China

CHEN Yu<sup>1</sup>, HU Wei<sup>1</sup>, YANG Gai-he<sup>2</sup>, ZHANG Pei-dong<sup>3</sup>

(1. College of Life Science and Food Engineering, Yibin University, Yibin, Sichuan 644000, China;

2. College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Environment and Safety Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266042, China)

**Abstract:** Theoretical biogas production potential estimation model of fermentation materials was established based on animal data base for energy potential estimation (ABEPE) model. The model was used to estimate Chinese rural household biogas production in 2007. The results showed that the top five areas were Tibet, Qinghai, Jilin, Inner Mongolia and Xinjiang in China in terms of the theoretical biogas fermentation material production potential higher than 2 300 m<sup>3</sup>/a, the theoretical biogas fermentation material production potential in Tibet was up to 9 492 m<sup>3</sup>/a; the theoretical biogas fermentation material production potentials in Shanxi, Shanghai, Fujian, Guangdong, Chongqing, Shaanxi and Zhejiang were lower than 540 m<sup>3</sup>/a. According to the fermentation material suitability, the development of household biogas could be divided into four different regions in rural area of China which include optimum region, suitable region, sub-suitable region and unsuitable region. According to these results, biogas fermentation material zoning map in rural area of China was made.

**Key words:** household biogas; fermentation material; biogas production potential; regionalization

农村户用沼气池的正常运行,需要充足的发酵原料。摸清农村沼气发酵原料的产气潜力,可为农村户用沼气池合理布局提供理论依据。目前,中国农村户用沼气的发酵原料主要为农作物秸秆、畜禽粪便和人类粪尿等。针对农作物秸秆资源量及畜禽粪便排放量估算的研究很多<sup>[1-8]</sup>,这些研究结果反映了中国秸秆

及畜禽粪便资源的总量,但不能用其直接评价各个地区沼气发酵原料的多寡。一方面,不同发酵原料产沼气的效率有很大的差别,另一方面,各地秸秆及畜禽粪便资源的总量不能很好地反映资源和资源消费的关系。因此,中国农村不同地区沼气发酵原料的产气潜力及其分布值得深入探讨。

能值潜力估算动物数据库(The Animals data Base for Energy Potential Estimation, ABEPE)模型是希腊 Batzias 等提出的基于地理信息系统的生物质资源评价,运用相关的数据管理系统估算畜禽粪便资源沼气池产气量的模型<sup>[9]</sup>,并利用这一模型对希腊全境畜禽粪便资源产沼气的量进行了估算<sup>[10]</sup>。本研究结合能值潜力估算动物数据库模型(ABEPE)建立中国农村户用沼气主要发酵原料理论户均产气潜力模型,并利用该模型估算中国农村 2007 年沼气发酵原料(农作物秸秆、畜禽粪便和人粪尿)理论户均产沼气的潜力。在此基础上,对中国农村户用沼气发酵原料适宜性进行区划,以期合理布局中国农村户用沼气提供理论依据。

## 1 农村户用沼气发酵原料产气潜力

### 1.1 农村户用沼气理论产气潜力模型

农村户用沼气理论产气潜力,即一定温度下,某个地区发酵原料产沼气的潜力之和与这个地区人口户数的比值。比值越大说明这个地区沼气发酵原料越丰富。本研究对能值潜力估算动物数据库(ABEPE)模型做了以下改动,建立了理论户均产沼气的潜力模型:(1) 本研究探讨的是发酵原料产沼气的潜力并非实际值,因而没有考虑农作物秸秆、畜禽粪便和人粪尿资源的入池率;(2) 把仅对动物粪便产沼气的估算改为农作物秸秆、畜禽粪便和人粪尿产沼气的潜力;(3) 把单位面积产沼气的潜力改为户均产沼气的潜力;(4) 没有把产沼气的量转化为能量。表 1 为农村户用沼气理论产气潜力模型参数。理论户均产气潜力估算模型如下:

表 1 理论户均产沼气的潜力估算模型参数<sup>[11]</sup>

原料种类	粪尿排泄量/ (t · a <sup>-1</sup> )	干物质质量 分数系数	产气因子/ (m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> )
人粪尿	0.6900	0.10	0.43
猪粪尿	1.0500	0.15	0.42
奶牛粪尿	19.4000	0.10	0.19
黄牛和水牛粪尿	10.000	0.16	0.30
肉牛粪尿	7.7000	0.16	0.30
绵羊粪尿	0.8700	0.37	0.04
山羊粪尿	0.8700	0.37	0.04
马粪尿	5.9000	0.27	0.02
驴粪尿	5.0000	0.22	0.35
骡粪尿	5.0000	0.27	0.35
家禽粪尿	0.0341	0.50	0.22
水稻秸秆	—	0.36	0.40
小麦秸秆	—	0.56	0.45
玉米秸秆	—	0.31	0.50

(1) 计算农村产沼气的生物质资源干物质质量。

农村产沼气的生物质资源包括农作物秸秆和人、畜禽粪便。农作物秸秆干物质质量用公式(1)计算,人、畜禽粪便干物质质量用公式(2)计算。

$$DS_{yra} = Q_{yra} B_{Fyra} \quad (1)$$

$$DS_{yra} = P_{yra} M_{yra} B_{Fyra} \quad (2)$$

式中:DS<sub>yra</sub>——y 年 r 区第 a 种物质的干物质质量; Q<sub>yra</sub>——y 年 r 区第 a 种物质的产量; P<sub>yra</sub>——y 年 r 区第 a 种物质的数量; M<sub>yra</sub>——y 年 r 区第 a 种物质的粪尿年排泄量; B<sub>Fyra</sub>——第 a 种物质中的干物质质量分数系数。

(2) 计算生物质资源产沼气的潜力。

$$B_{yra} = DS_{yra} BY_{Fyra} \quad (3)$$

式中: B<sub>yra</sub>——y 年 r 区第 a 种物质产沼气的潜力; BY<sub>Fyra</sub>——第 a 种物质产沼气的因子(在 35℃ 的条件下测定)。

(3) 计算生物质资源产沼气的总潜力。

$$B_{yr} = \sum_a B_{yra} \quad (4)$$

式中: B<sub>yr</sub>——y 年 r 区产沼气的总潜力。

(4) 计算农村生物质资源户均产沼气的潜力。

$$D_{yr} = \frac{B_{yr}}{H_r} \quad (5)$$

式中: D<sub>yr</sub>——y 年 r 区生物质资源户均产沼气的潜力; H<sub>r</sub>——r 区的乡村户数。

### 1.2 数据来源及计算

2007 年中国各地区主要粮食作物产量、牲畜年末存栏量、主要牲畜出栏量和乡村户数的数据均来自于 2008 年中国农村统计年鉴。

### 1.3 农村户用沼气理论产气潜力估算及分析

利用理论户均产气潜力模型对中国 2007 年沼气发酵原料(农作物秸秆、畜禽粪便和人粪尿)理论户均产沼气的潜力进行了估算。根据所得结果利用 ArcGIS 软件得到 2007 年中国各地农村秸秆理论户均产沼气的潜力分布图,2007 年中国各地农村粪尿理论户均产沼气的潜力分布图,2007 年中国各地农村理论户均产沼气的潜力分布图。

1.3.1 秸秆户均产沼气的潜力 秸秆理论户均产沼气的潜力(图 1—2)居前六位的是吉林、黑龙江、新疆、内蒙古、河南和宁夏,秸秆理论户均产气潜力均高于 500 m<sup>3</sup>/a,其中吉林最高达 916 m<sup>3</sup>/a;其次是山东、安徽、辽宁、河北、江苏、湖北和江西,秸秆理论户均产气潜力均在 300 m<sup>3</sup>/a 以上;北京、上海、浙江、福建、广东、广西、海南、重庆、贵州和西藏 10 省(市、区),秸秆理论户均产气潜力较低,秸秆理论户均产气潜力低于 200 m<sup>3</sup>/a,农作物秸秆资源较少,秸秆资源作为沼气发酵原料远远不够满足农户对沼气的需要。

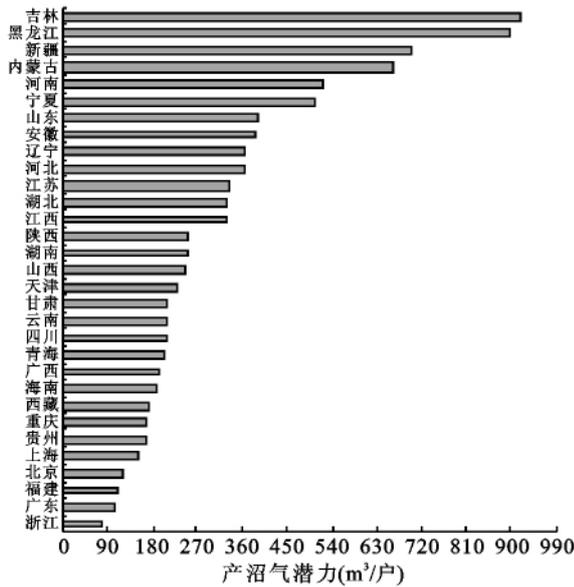


图 1 秸秆理论户均产沼气潜力

秸秆、粪便资源都不足,沼气发酵原料短缺。

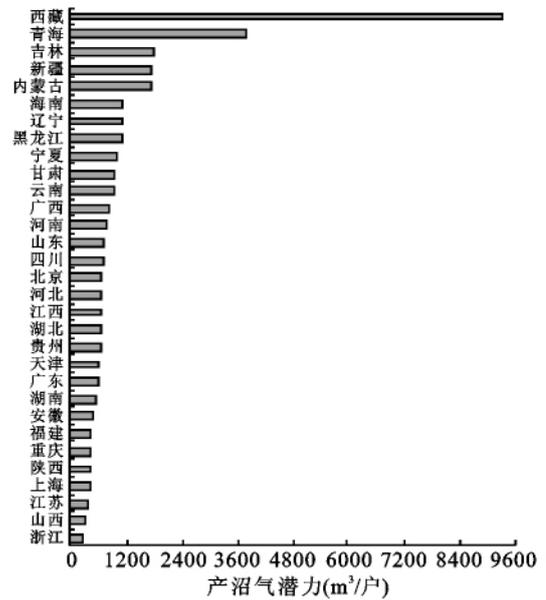


图 3 粪便理论户均产沼气潜力

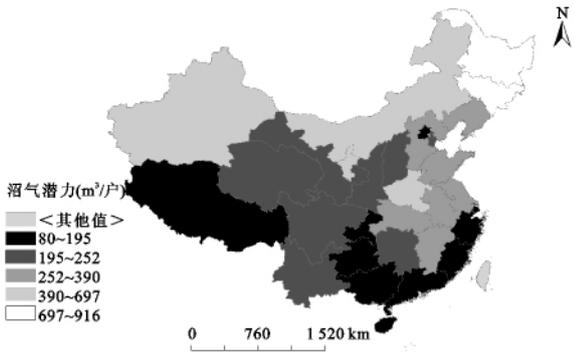


图 2 2007 年中国各地农村秸秆理论户均产沼气潜力分布

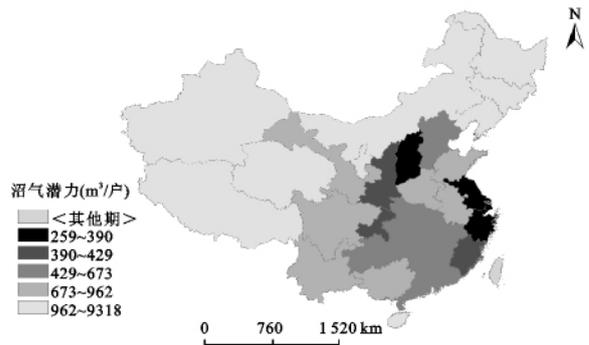


图 4 2007 年中国各地农村粪便理论户均产沼气潜力分布

1.3.2 粪便户均产沼气潜力 粪便理论户均产沼气潜力(图 3—4)高于 1 000 m<sup>3</sup>/a 的地区包括西藏、青海、吉林、新疆、内蒙古、辽宁、海南、黑龙江和宁夏 9 省(区),其中西藏最高达 9 318 m<sup>3</sup>/a,为养殖大省,具有丰富的粪便资源可以作为沼气发酵原料;其次是甘肃、云南、广西、河南、山东和四川,粪便理论户均产气潜力均在 700 m<sup>3</sup>/a 以上;山西、上海、江苏、浙江 4 省(市)粪便理论户均产气潜力低,粪便理论户均产气潜力低于 250 m<sup>3</sup>/a,养殖业不发达,粪便资源少,若只用粪便资源作为沼气发酵原料远远不够满足农户对沼气的需求。

1.3.3 总户均产沼气潜力 理论户均产沼气潜力(图 5—6)居前五位的是西藏、青海、吉林、内蒙古和新疆,发酵原料理论户均产气潜力均高于 2 300 m<sup>3</sup>/a,其中西藏高达 9 492 m<sup>3</sup>/a,具有丰富的沼气发酵原料;其次是河北、辽宁、黑龙江、江西、山东、河南、湖北、广西、海南、四川、云南、甘肃和宁夏,发酵原料理论户均产气潜力均在 900 m<sup>3</sup>/a 以上;山西、上海、福建、广东、重庆、陕西和浙江发酵原料理论户均产气潜力较低,发酵原料理论户均产气潜力低于 540 m<sup>3</sup>/a,

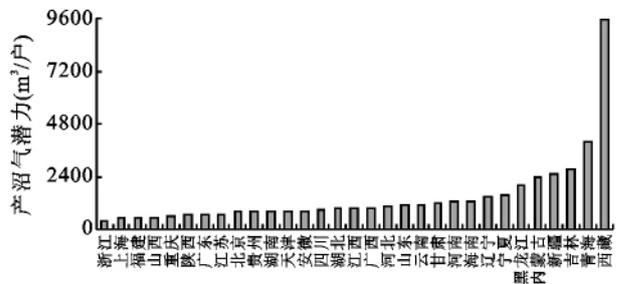


图 5 理论户均产沼气潜力

## 2 中国农村户用沼气发酵原料适宜性区划

### 2.1 区划指标

农村沼气能源主要用于炊事、取暖和照明等生活消费。因此,该研究以理论户均产沼气潜力能满足户均农村生活消费能源的百分比来作为沼气发酵原料的分区指标。中国农村户均生活用能约为每年 2 000 kg 标准煤,相当于 2 800 m<sup>3</sup> 沼气燃烧所产生的热量(1 m<sup>3</sup> 沼气折算 0.714 kg 的标准煤)。中国农村户

用沼气发酵原料分区指标分级标准见表 2。理论户均产沼气潜力占户均农村生活消费能源的比例大于 50% 的区域,即理论户均产沼气潜力大于 1 400 m<sup>3</sup>/a 的区域为沼气发酵原料最适宜区;理论户均产沼气潜力占户均农村生活消费能源的比例小于 50% 大于 30% 的区域,即理论户均产沼气潜力在 840~1 400 m<sup>3</sup>/a 的区域为沼气发酵原料适宜区;理论户均产沼气潜力占户均农村生活消费能源的比例小于 30% 大于 20% 的区域,即理论户均产沼气潜力在 560~840 m<sup>3</sup>/a 的区域为沼气发酵原料次适宜区;理论户均产沼气潜力占户均农村生活消费能源的比例小

于 20% 的区域,即理论户均产沼气潜力在小于 560 m<sup>3</sup>/a 的区域为沼气发酵原料非适宜区。

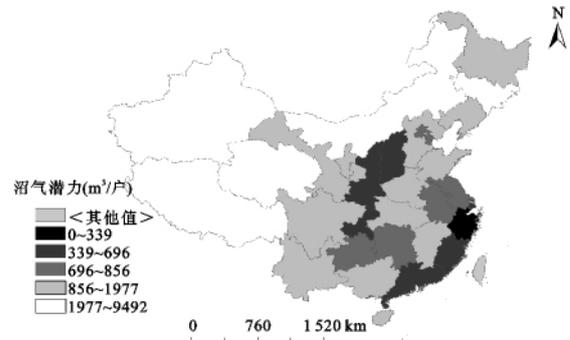


图 6 2007 年中国各地农村理论户均产沼气潜力分布

表 2 中国农村户用沼气发酵原料区划指标及分级标准

分区指标	最适宜区	适宜区	次适宜区	非适宜区
理论户均产沼气潜力占户均农村生活消费能源的比例/%	≥50	30~50	20~30	≤20
理论户均产沼气潜力/(m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	≥1400	840~1400	560~840	≤560

2.2 区划原则

- (1) 理论户均产沼气潜力的区内一致性和区间差异性;
- (2) 区域间不重叠,即任何一个被作为分区对象的地域单元不能同时归属于两个或两个以上的同级区域。

2.3 区划方法

以理论户均产沼气潜力能满足户均农村生活消费能源的百分比来作为沼气发酵原料的分区指标。按照中国农村户用沼气发酵原料分区指标分级标准对 2007 年中国各地农村沼气发酵原料理论户均产沼气潜力进

行分区,结果见表 3。根据区划结果,形成了中国农村户用沼气发酵原料适宜性区划图(图 7)。

2.4 分区评述

发酵原料最适宜区(I 区)。包括西藏、青海、吉林、新疆、内蒙古、黑龙江、宁夏和辽宁 8 个省(区)。这些地区发酵原料理论户均产气潜力高,均大于 1 400 m<sup>3</sup>/a,具有丰富的沼气发酵原料。发酵原料最适宜区主要集中在西北大部 and 东北地区,这些地区春、冬季自然温度低,年发酵时间短,应发展温棚沼气,如何提高发酵原料的产气率是这些地区发展户用沼气的关键。

表 3 中国农村户用沼气发酵原料适宜性区划

分区名称	分区的标准	区域
最适宜区 I	≥50%, ≥1400 m <sup>3</sup> /a	西藏、青海、吉林、新疆、内蒙古、黑龙江、宁夏、辽宁
适宜区 II	30%~50%, 840~1400 m <sup>3</sup> /a	海南、河南、甘肃、云南、山东、河北、广西、江西、湖北、四川、安徽
次适宜区 III	20%~30%, 560~840 m <sup>3</sup> /a	天津、湖南、贵州、北京、江苏、广东、陕西、重庆、山西
非适宜区 IV	≤20%, ≤560 m <sup>3</sup> /a	福建、上海、浙江

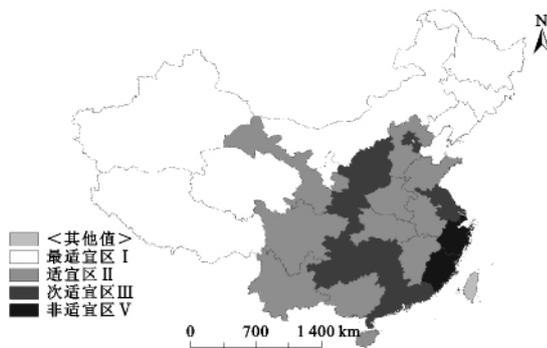


图 7 中国农村户用沼气发酵原料适宜性区划

发酵原料适宜区(II 区)。包括海南、河南、甘肃、云南、山东、河北、广西、江西、湖北、四川和安徽 11 个

省。这些地区发酵原料理论户均产气潜力较高,均高于 840 m<sup>3</sup>/a,具有较丰富的沼气发酵原料,应充分高效地利用沼气发酵原料发展农村沼气。

发酵原料次适宜区(III 区)。包括天津、湖南、贵州、北京、江苏、广东、陕西、重庆和山西 9 个省(市)。此区发酵原料理论户均产气潜力偏低,为 560~840 m<sup>3</sup>/a,沼气发酵原料不足,可以通过调整农业结构,增加畜牧业的比重及沼气能源植物的种植等措施来满足沼气发酵原料的供给。

发酵原料非适宜区(IV 区)。包括福建、上海、浙江 3 省(市)。此区发酵原料理论户均产气潜力低于 560 m<sup>3</sup>/a,沼气发酵原料严重短缺,沼气发展的模式不宜以户为主,可以发展农村沼气集中供气模式。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

(1) 本研究结合能值潜力估算动物数据库 (ABEPE) 模型建立了中国农村户用沼气主要发酵原料理论户均产气潜力估算模型。并利用该模型对中国农村 2007 年沼气发酵原料 (农作物秸秆、畜禽粪便和人粪尿) 理论户均产沼气潜力分别进行了估算。发酵原料理论户均产气潜力居前五位的是西藏、青海、吉林、内蒙古和新疆, 均高于  $2\ 300\ \text{m}^3/\text{a}$ , 其中西藏高达  $9\ 492\ \text{m}^3/\text{a}$ , 山西、上海、福建、广东、重庆、陕西和浙江发酵原料理论户均产气潜力较低, 均低于  $540\ \text{m}^3/\text{a}$ 。

(2) 以理论户均产沼气潜力能满足户均农村生活消费能源的百分比来作为沼气发酵原料的分区指标。按照中国农村户用沼气发酵原料分区指标分级标准对 2007 年中国各地农村沼气发酵原料理论户均产气潜力进行了分区, 划分为沼气发酵原料最适宜区、适宜区、次适宜区和非适宜区。发酵原料最适宜区包括西藏、青海、吉林、新疆、内蒙古、黑龙江、宁夏和辽宁 8 个省 (区); 发酵原料适宜区包括海南、河南、甘肃、云南、山东、河北、广西、江西、湖北、四川和安徽 11 个省; 发酵原料次适宜区包括天津、湖南、贵州、北京、江苏、广东、陕西、重庆和山西 9 个省 (市); 发酵原料非适宜区包括福建、上海、浙江 3 省 (市)。根据区划结果, 形成了中国农村户用沼气发酵原料适宜性区划图。

#### 3.2 讨论

(1) 本文在估算沼气发酵原料产气潜力时不仅考虑了不同发酵原料产气效率的差别, 也考虑了资源的富集程度, 因此, 能更准确的评价各个地区沼气发酵原料的多寡。

(2) 本文探讨的是发酵原料产沼气潜力并非实际值, 因而没有考虑农作物秸秆、畜禽粪便和人粪尿

资源的入池率 (即生物质资源用做沼气发酵的比例) 及各地的温度状况。

(3) 我国对农村户用沼气区划的研究开展的还较少, 完整的区划指标和方法还未建立, 本文在沼气发酵原料区划研究方面做了一些尝试性的工作, 还有许多问题有待于进一步探索研究。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 9-18.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 王方浩, 马文奇, 龚争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614-617.
- [7] 周凯, 雷泽勇, 王智芳, 等. 河南省畜禽养殖粪便年排放量估算[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1060-1065.
- [8] 彭里, 王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 288-291.
- [9] Sidiras D K, Koukios E G. A database for accessing the biomass potential in national and regional level[C] // Proceedings of the ninth European Bioenergy Conference, Biomass for Energy and the Environment. Copenhagen, Denmark, 1996.
- [10] Batzias F A, Sidiras D K, Spyrou E K. Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method[J]. Renewable Energy, 2005, 30 (8): 1161-1176.
- [11] 汤云川, 张卫峰, 马林, 等. 户用沼气产气量估算及能源经济效益[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 281-288.