

基于能值生态足迹理论的福建省农业 废弃物再利用方式评估

边淑娟, 黄民生*, 李娟, 陈晓丽

(福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 农业废弃物(包括作物秸秆和畜禽粪便)蕴含着巨大的能量,如果未合理的再利用,将造成资源的浪费甚至环境污染。运用能值分析与生态足迹相结合的方法,对福建省 1997—2006 年农业废弃物的利用方式进行评估。首先对各种利用方式进行能值评估,然后采用能值生态足迹理论进行分析。结果表明,近 10a 来,福建省农业废弃物利用方式年均生态盈余为 $1.299 \text{ hm}^2/\text{人}$,说明福建省农业废弃物再利用的空间仍较大。如果农业废弃物能够被充分利用,将对福建省农业发展以及农业生态环境改善具有很大的促进作用。

关键词: 农业废弃物;能值;生态足迹;利用方式;福建

An evaluation on the using ways of agricultural wastes reutilization in Fujian based on emergy and ecological footprint theory

BIAN Shujuan, HUANG Minsheng*, LI Juan, CHEN Xiaoli

(College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The agricultural wastes, including crop straw and livestock and poultry feces, contain huge energy, and their rational reuse plays a significant role in avoiding the squander of resources and the environment pollution. This paper addresses this important issue by using the emergy theory and the ecological footprint theory. This paper first estimates the total amounts of crop straw, and livestock and poultry feces in each of years in Fujian Province from 1997 to 2006, according to the yields of the dominant crops, including rice, other grain crops, soybean, peanut, rapeseeds and sugarcane, and the numbers of main kinds of livestock and poultry, including hogs, bull, sheep, poultry, and rabbit including two conditions of the livestock and poultry on hand and the slaughtered ones. The emergy theory is taken as the main analysis method in this paper, and the total amounts of crop straw and livestock and poultry feces in each year are transformed into emergy by transformity. The paper identifies five main ways of reusing and dealing with the agricultural wastes in Fujian Province in recent ten years, including their uses as domestic energy (as the raw material of producing biogas), as fertilizer for returning fields, as the base of edible fungus, others such as the raw material of industrial manufacture, even including the direct disposal of their untreated part. And the energy flow fig of the ways of reusing and dealing with the agricultural wastes in Fujian Province is drawn, then the above five ways are respectively calculated in the period from 1996 to 2007 by using emergy analysis method. Applying emergy theory and ecological footprint theory, the value of the ecological footprint of this five ways is estimated per year basing on this theory, and the value of corresponding ecological carrying capacity is also calculated at the same time, and lastly the analysis results of reusing and dealing with agricultural wastes in Fujian Province are obtained by comparing the ecological footprint value with the ecological carrying capacity value in each year from 1997 to 2006. The results shows that the annual average ecological footprint of the ways of reusing and dealing with the agricultural wastes is $0.963 \text{ hm}^2/\text{person}$ in recent ten years in Fujian Province, and the annual

基金项目: 国家基础科学人才培养基金资助项目(J0830521);福建省自然科学基金资助项目(D0610004)

收稿日期: 2009-09-02; **修订日期:** 2010-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mshuang@fjnu.edu.cn

average ecological carrying capacity value of the ways is $2.262 \text{ hm}^2/\text{person}$, and the average value of the ecological surplus of the ways is $1.299 \text{ hm}^2/\text{person}$ per year. In this paper, the ecological surplus increased gradually from $1.04 \text{ hm}^2/\text{person}$ in 1997 to $1.54 \text{ hm}^2/\text{person}$ in 2006. It indicates that there is still much room in the reutilization of agricultural wastes in Fujian Province, and their full reutilization will greatly promote the agricultural development and the improvement in the agro-ecological environment. Especially the untreated part of the agricultural wastes should be reused fully, it will lead to the win-win situation of economic development and ecological conservation. Therefore the relevant departments should take some measures to ensure the full reutilization of the agricultural wastes in Fujian Province.

Key Words: agricultural wastes; emergy; ecological footprint; using ways; Fujian

农业生态系统在为人类提供粮食、蔬菜以及肉蛋奶等农业产品的同时,也产生许多农业废弃物。农业废弃物泛指“人类在农业生产过程中所丢弃的各种有机类物质,按其来源不同可以分为植物性废弃物(主要指作物的秸秆、果树枝条、杂草、落叶、果实外壳等);动物性废弃物(主要指畜禽粪便);农副产品的加工产生的废弃物(主要指果渣、土豆渣、屠宰污血等)和农村居民生活废弃物(主要指人类尿以及生活垃圾等)”^[1]。农作物秸秆(每年约 6 亿 t)和畜禽粪便(每年约 26 亿 t)在我国农业废弃物中占重要的地位,本文主要就农作物秸秆和畜禽粪便的利用方式进行分析。

农业废弃物如果利用、处理的不当就会造成环境的污染和资源的浪费,例如,农作物秸秆目前主要的利用方式为焚烧,分为田间焚烧和作为薪柴焚烧两种,这个过程会造成空气的污染。此外,畜禽粪便污染就更为严重^[2],畜禽粪便对土壤的污染、对水体的污染以及对大气的污染强度有些甚至已经超过了工业污染的强度。另外,农业废弃物是一种容易被忽略的资源,在资源和能源短缺的今天,如果能合理利用农业废弃物,将会带来极大的经济效益、环境效益以及生态效益。文中采用能值分析与生态足迹分析结合的方法,对福建省 1997—2006 年间农业废弃物利用方式合理性进行评价。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

福建省位于祖国大陆的东南沿海,与台湾隔海相望,地处北纬 $23^{\circ}30'—28^{\circ}22'$,东经 $115^{\circ}50'—120^{\circ}40'$ 。全年平均气温为 $14.5—23.1^{\circ}\text{C}$,并由闽西北向闽东南递减,热量充足,可满足作物一年四季生长的需要,且一年中有半年左右时间温度在作物最适宜的温度范围之内或之上($20—25^{\circ}\text{C}$)^[3]。福建省多年平均降水量为 1 667 mm,多年平均径流深度为 96 mm,水资源充沛。全省境内多山地,森林覆盖率达到 60.52%^[4]。

1.2 数据来源

原始数据和资料来源主要有 3 个部分:①农业基本数据,包括农作物产量、作物耕地面积、畜禽产品数量(存栏数与出栏数)等来自《福建省统计年鉴》、《福建农村调查年鉴》;②农村人口数据,《福建省统计年鉴》、《中国人口统计年鉴》;③农村能源数据,来自《中国能源统计年鉴》。其余的转换系数、能值转换率等在文中具体标注出处。

2 研究方法分析

2.1 基本原理

能值分析就是以能值为基准,把生态系统或生态经济系统中不同种类、不可比较的能量转换成同一标准的能值来衡量和分析,以评价其在系统中的作用和功能^[5]。HT Odum 认为^[5]任何资源、产品或劳务形成过程中,直接或间接消耗的能量,都可以转化为太阳能值,单位为太阳能焦耳(Solar Emergy Joules,缩写为 sej)。太阳能值是通过能值转换率来进行计算的,能值转换率是指形成 1 J 产品或劳务所需要的太阳能值,单位:sej/J 或者 sej/g。

基于能值分析的生态足迹就是将能值分析方法与生态足迹方法结合的分析。本文通过对研究区域农业废弃物不同利用方式能值流向的估算,引入全国和区域的农业废弃物能值密度,将农业废弃物各种利用方式

的能值流向换算成相对应的土地生产面积,从而可以计算出区域农业废弃物的人均生态足迹以及区域农业废弃物资源的人均生态承载力,进而可以评价区域农业废弃物利用方式合理性。

2.2 方法步骤

2.2.1 农业废弃物总量估算

农作物秸秆的产量通常可以依据农作物的产量计算得出,具体公式如下^[6]:

$$CR = \sum_{i=1}^n Qc_i r_i \quad (1)$$

式中, CR 为秸秆资源实物量, Qc_i 为第 i 类农作物的产量, r_i 为第 i 类农作物的谷草比系数 (residue to product ratio, RPR)。

畜禽粪便排放量是根据各类畜禽的每日粪便产生量和畜禽的饲养周期计算得出,具体公式如下^[6]:

$$D = \sum_{i=1}^n Qd_i M_i \quad (2)$$

式中, D 为畜禽粪便实物量, Qd_i 为第 i 类畜禽的数目, M_i 为第 i 类畜禽在整个饲养周期内粪便排放总量。

2.2.2 农业废弃物再利用方式能值估算

(1) 计算农业废弃物总的能值。

(2) 绘制研究区域能流示意图。

2.2.3 农业废弃物人均生态足迹分析

(1) 估算研究区域农业废弃物各种利用方式的能值流向。

(2) 计算研究区域农业废弃物的人均生态承载力,公式如下:

$$E_c = e/p_1 \quad (3)$$

式中, E_c 为区域农业废弃物人均生态承载力, e 为人均消耗农业废弃物理论能值,即区域农业废弃物总能值/区域人口; p_1 为全国农业废弃物能值密度,即全国农业废弃物能值/全国土地面积。

(3) 计算研究区域农业废弃物再利用方式的人均生态足迹,公式如下:

$$E_f = \sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n (c_i/p_2) \quad (4)$$

式中, E_f 为农业废弃物再利用方式的人均生态足迹, i 为利用方式种类, a_i 为第 i 种利用方式的人均生态足迹, c_i 为第 i 种利用方式的人均能值, p_2 为区域农业废弃物的能值密度,即区域农业废弃物能值/区域土地面积。

(4) 计算区域农业废弃物的生态赤字或者盈余。将计算的农业废弃物再利用方式的人均生态足迹,与农业废弃物的人均生态承载力进行比较,得出生态赤字或盈余,从而对区域农业废弃物利用的合理性进行评价。

3 结果分析

3.1 农业废弃物总量估算结果

福建省农业种植的主要粮食作物为水稻,此外还包括小麦、玉米等其他谷物;非粮食作物主要包括大豆、花生、油菜和甘蔗等。根据(1)式计算出福建省 1997—2006 年各类农作物秸秆总量见表 1。

福建省 1997—2006 年农业饲养的畜禽种类主要包括肉猪、肉牛、肉羊、肉禽以及肉兔,由于各类畜禽在出栏与存栏状态下饲养周期不同,其在整个饲养周期内粪便排放总量也不同,因此在计算时每种畜禽有分出栏和存栏两种情况,具体计算见表 2。

3.2 农业废弃物再利用方式的能值估算

3.2.1 农业废弃物能值总量估算

将福建省 1997—2006 年农业废弃物总量转换成能值形式,其结果见表 3。

根据表 3 绘制统计图 1,很容易看出福建省农业废弃物能值在 10a 间的动态变化,畜禽粪便能值从 1997 年开始呈上升趋势,秸秆能值从 2000 年开始逐渐下滑,但不是很明显,故二者的能值总和也表现出了跟畜禽

粪便能值相似的动态变化。

表 1 1997—2006 年福建省主要农作物秸秆产量/万 t

Table 1 The straw yields of main crops in Fujian from 1997 to 2006/10000t

项目 Item		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
水稻 Rice	Qc_1	739.24	728.81	712.28	632.75	606.8	557.52	523.44	545.62	526.57	508.84
	r_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CR_1	739.24	728.81	712.28	632.75	606.8	557.52	523.44	545.62	526.57	508.84
其他谷物 Others	Qc_2	222.54	229.3	229.89	221.93	210.48	205.71	189.72	190.83	188.61	192.69
	r_2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	CR_2	244.79	252.23	252.88	244.12	231.53	226.28	208.69	209.91	207.41	211.96
大豆 Soybean	Qc_3	20.02	20.61	21.03	20.48	19.67	18.76	17.96	18.4	18.24	18.44
	r_3	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	CR_3	34.03	35.04	35.75	34.82	33.44	31.89	30.53	31.28	31.01	31.35
花生 Peanut	Qc_4	22.25	22.64	23.69	23.82	24.17	24.05	24.25	25.88	25.47	25.01
	r_4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	CR_4	33.38	33.96	35.54	35.73	36.26	36.08	36.38	38.82	38.21	37.52
油菜籽 Rapeseeds	Qc_5	1.97	1.88	2.00	1.84	1.79	1.68	1.62	1.80	1.80	1.78
	r_5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	CR_5	5.91	5.64	6	5.52	5.37	5.04	4.86	5.4	5.4	5.34
甘蔗 Sugarcane	Qc_6	249.90	219.33	138.76	82.71	95.54	117.91	118.12	101.57	93.33	95.03
	r_6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	CR_6	24.99	21.93	13.88	8.27	9.55	11.79	11.81	10.16	9.33	9.50
总计 Total	CR	1082.3	1077.6	1056.3	961.21	922.95	868.60	815.71	841.19	817.93	804.51

注:作物谷草比系数 r_i 数据源自文献^[6]

表 2 1997—2006 年福建省主要畜禽的粪便排放量/万 t

Table 2 Total amounts of livestock and poultry feces in Fujian from 1997 to 2006 /10000t

项目 Item		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
肉猪 Hogs	Qd_{11}	1231.98	1365.14	1453.38	1560.81	1665.55	1770.33	1885.61	2002.75	2150.44	2229.36
	M_{11}	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	D_{11}	1293.58	1433.40	1526.05	1638.85	1748.83	1858.85	1979.89	2102.89	2257.96	2340.83
	Qd_{12}	976.53	1024.15	1049.55	1087.66	1125.42	1162.60	1207.26	1254.12	1277.40	1279.12
	M_{12}	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
	D_{12}	1425.73	1495.26	1532.34	1587.98	1643.11	1697.40	1762.60	1831.02	1865.00	1867.52
肉牛 Bull	Qd_{21}	20.10	20.33	20.76	21.31	22.37	23.89	25.58	28.79	26.69	27.80
	M_{21}	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
	D_{21}	64.32	65.06	66.43	68.19	71.58	76.45	81.86	92.13	85.41	88.96
	Qd_{22}	117.82	117.06	114.59	111.44	109.65	109.28	109.32	107.84	105.69	100.21
	M_{22}	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703
	D_{22}	436.29	433.47	424.33	412.66	406.03	404.66	404.81	399.33	391.37	371.08
肉羊 Sheep	Qd_{31}	70.47	81.15	87.39	97.80	104.01	107.77	118.65	131.79	150.31	163.59
	M_{31}	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632
	D_{31}	44.54	51.29	55.23	61.81	65.73	68.11	74.99	83.29	95.00	103.39
	Qd_{32}	86.35	91.30	93.75	90.22	101.43	106.39	123.77	128.94	136.00	132.34
	M_{32}	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632	0.632
	D_{32}	54.57	57.70	59.25	57.02	64.10	67.24	78.22	81.49	85.95	83.64
肉禽 Poultry	Qd_{41}	16364.4	18056.1	19146.6	20633.9	22002.7	23120.7	25315.0	27329.4	28757.6	29323.3
	M_{41}	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005

续表

项目 Item		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
肉兔 Rabbit	D_{41}	81.82	90.28	95.73	103.17	110.01	115.60	126.58	136.65	143.79	146.62
	Qd_{42}	10118.0	10450.0	10755.2	10930.2	11113.9	11509.4	11676.2	11920.3	11600.7	11637.1
	M_{42}	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
	D_{42}	30.35	31.35	32.26	32.79	33.34	34.53	35.03	35.76	34.80	34.91
	Qd_{51}	981.84	1040.95	1106.31	1178.96	1234.96	1313.81	1427.64	1505.56	1559.27	1559.33
	M_{51}	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
	D_{51}	7.85	8.33	8.85	9.43	9.88	10.51	11.42	12.04	12.47	12.47
	Qd_{52}	662.77	673.82	655.30	714.40	719.38	760.31	763.35	801.87	822.67	806.26
	M_{52}	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
总计 Total	D_{52}	36.45	37.06	36.04	39.29	39.57	41.82	41.98	44.10	45.25	44.34
	D	3475.50	3703.20	3836.51	4011.19	4192.18	4375.17	4597.38	4818.70	5017.00	5093.76

注: Qd_{ij} 表示第 i 种畜禽数量(万头), $j = 1$ 表示年末出栏畜禽, $j = 2$ 表示年末存栏畜禽; M_{ij} 表示第 i 种畜禽在饲养周期内的粪便排放量(t 头), 数据源自文献^[7]; 同样也分为出栏和存栏两种情况

表 3 福建省 1997—2006 年农业废弃物能值表

Table 3 Emergy of agricultural wastes in Fujian from 1997 to 2006

年份 Year	秸秆 Straw		畜禽粪便 Livestock and poultry feces		总计 Total / 10^{22} sej
	原始数据	能值	原始数据	能值	
	Original data/ 10^{17} J	Emergy/ 10^{21} sej	Original data/ 10^{17} J	Emergy/ 10^{21} sej	
1997	2.04	5.50	1.21	1.61	2.16
1998	2.03	5.48	1.29	1.71	2.26
1999	1.99	5.37	1.34	1.78	2.32
2000	1.81	4.89	1.40	1.86	2.35
2001	1.74	4.69	1.46	1.94	2.41
2002	1.64	4.42	1.52	2.03	2.47
2003	1.54	4.15	1.60	2.13	2.54
2004	1.58	4.28	1.68	2.23	2.67
2005	1.54	4.16	1.75	2.32	2.74
2006	1.51	4.09	1.77	2.36	2.77

注: 秸秆原始数据由表 1 获取; 秸秆能值转换率为 2.7×10^4 sej/J, 源自参考文献^[8]; 畜禽粪便原始数据由表 2 获取; 畜禽粪便能值转化率为 1.33×10^6 sej/J, 是参考文献^[5]中关于固体废弃物和液体废弃物能值转换率所得

3.2.2 农业废弃物各种利用方式能值估算

福建省近些年来对农业废弃物的处理利用方式主要有以下几种: ①作为生活能源, 分为将农业废弃物直接作为薪柴和制作沼气两种情况, 文中主要对后者进行估算; ②作为肥料还田; ③作为培育食用菌的基料; ④其他利用方式, 主要是作为工业原料; ⑤未利用处理而直接废弃。绘制福建省农业废弃物利用处理方式的能流走向图(图 2)。

(1) 作为生活能源

农业废弃物作为生活能源主要体现在两方面: 一方面是以农业废弃物为原料来生产沼气, 然后输送到农户家中使用; 另一方是直接燃烧秸秆煮饭, 文中主要考虑

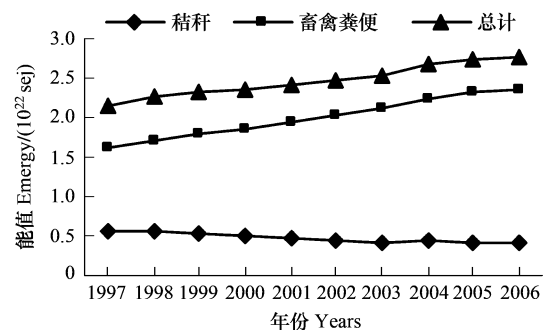


图 1 福建省农业废弃物能值的动态变化趋势

Fig. 1 Emergy of dynamic change trend of agricultural wastes in Fujian

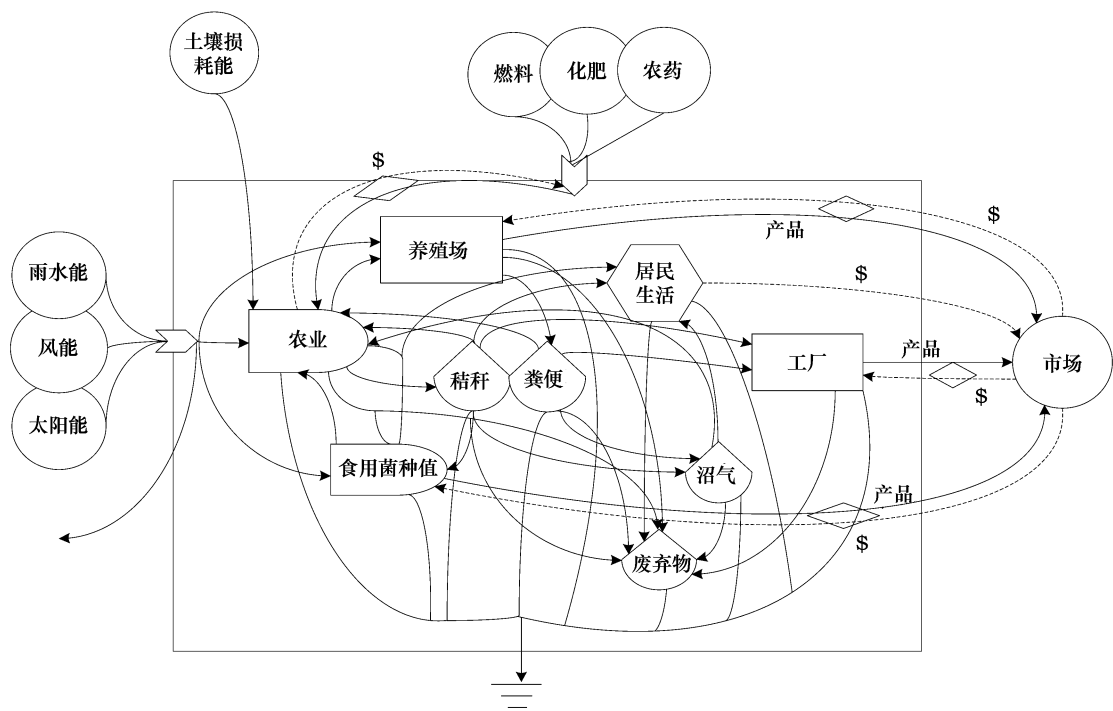


图 2 福建省农业废弃物利用处理主要方式能流示意图
Fig. 2 Energy flow of main using manners of agricultural wastes in Fujian

的是生产沼气的情况。根据福建省制沼气的技术水平^[8],1t 畜禽粪便约可以产生 4m³的沼气,通过根据《福建省统计年鉴》相关数据估算出的福建省沼气年生产量,推算出制作沼气消耗的农业废弃物能值量。此外,秸秆作为生活能源的数据参考《中国能源统计年鉴》的相关数据,由于两者都是作为居民生活能源,因此将二者能值合并在一起计算(表 4)。

表 4 福建省 1997—2006 年农业废弃物利用处理方式的能值构成/sej

Table 4 Emergy composition of utilization ways of agricultural wastes in Fujian from 1997 to 2006/sej						
年份 Year	总计 Total	生活能源 Domestic energy	肥料 Fertilizer	食用菌基料 Base of edible fungus	未利用 Unutilization	其他 Others
1997	2.81×10^{22}	6.60×10^{21}	1.00×10^{22}	1.80×10^{20}	6.85×10^{20}	4.135×10^{21}
1998	2.92×10^{22}	6.55×10^{21}	1.01×10^{22}	1.85×10^{20}	7.10×10^{20}	5.055×10^{21}
1999	2.98×10^{22}	7.54×10^{21}	1.01×10^{22}	2.07×10^{20}	7.86×10^{20}	4.567×10^{21}
2000	3.01×10^{22}	7.55×10^{21}	9.37×10^{21}	2.35×10^{20}	9.07×10^{20}	5.078×10^{21}
2001	3.07×10^{22}	8.06×10^{21}	9.49×10^{21}	2.22×10^{20}	9.60×10^{20}	5.368×10^{21}
2002	3.14×10^{22}	9.37×10^{21}	7.40×10^{21}	2.35×10^{20}	9.16×10^{20}	6.779×10^{21}
2003	3.22×10^{22}	1.15×10^{22}	7.05×10^{21}	2.49×10^{20}	1.26×10^{21}	5.341×10^{21}
2004	3.35×10^{22}	1.28×10^{22}	7.12×10^{21}	2.64×10^{20}	1.28×10^{21}	5.236×10^{21}
2005	3.41×10^{22}	1.39×10^{22}	7.05×10^{21}	2.84×10^{20}	1.38×10^{21}	4.786×10^{21}
2006	3.43×10^{22}	1.44×10^{22}	6.96×10^{21}	2.98×10^{20}	1.41×10^{21}	4.632×10^{21}

注:沼气池容积产气率 r 文中采用 $r=0.15\text{m}^3\text{m}^{-3}\text{d}^{-1}$;水稻和蔬菜每公顷施肥量参见文献^[11]

(2) 作为肥料

另外一种主要的农业废弃物再利用方式是作为肥料还田。这种利用方式最为简便和普遍,而且效果比较明显。例如,秸秆每公顷还田 4.5t,培肥阶段增产率为 14.6%,后续阶段增产率达 20%^[9];2003 年猪粪、牛粪、鸡粪以及羊粪四种主要的畜禽粪便资源可提供氮磷钾约 2800 万 t,相当于当年化肥消费量的 60% 以

上^[10]。农业废弃物作为肥料的效益能值主要是通过粮食增产量计算,能值数据见表4。

(3) 作为食用菌基料

福建省是我国主要的食用菌产地之一,其古田县被称为“中国食用菌之都”,且近年来,种植量也越来越多,例如1997年食用菌产量为35.44万t,到2006年福建省食用菌的产量为58.73万t。按照生产1t的食用菌需要1t的秸秆作为基料的比例^[9],可以推算出1997—2006年间福建省种植食用菌消耗的农业废弃物(主要指秸秆)能值见表4。

(4) 其他利用方式

福建省农业废弃物的利用处理方式,除上述几种,还包括作为畜禽饲料、作为造纸等工业原料以及其他一些方式,该部分能值由福建省农业废弃物总能值减去上述3种利用方式的能值之和,同时还要减去未利用而直接废弃的农业废弃物能值,具体能值见表4。

(5) 未利用而直接废弃

农业废弃物中有一部分没有处理利用就直接废弃或排放掉了,以畜禽粪便为主,尤其是一些规模较小的养殖场,粪便回收处理系统设施不全甚至没有,便直接排入河流中。以福建省为例,闽江上游地区养猪场偏多,而且多为户营型,规模较小,猪粪直接排入江中,造成了河流污染、水质下降。这样不仅造成资源的浪费而且严重污染了环境,目前有关部门正在竭力整治闽江上游沿岸养殖场排污情况,还闽江原有的清澈。根据表4中各种利用方式所消耗的农业废弃物情况,绘制1997—2006年间福建省农业废弃物各利用处理方式所占比例的变化情况图(图3)。

图3显示了1997—2006年间农业废弃物各种利用方式的能值构成比例,其中将农业废弃物作为生活能源这种利用方式所占能值比例不断扩大,并且在2001—2002年间取代了作为肥料还田方式的主导地位。用于肥料还田的农业废弃物能值所占比例在逐渐减小,其中2002年下降趋势更为明显。同时,废弃物作为食用菌基料的能值构成比例虽在增加,但由于所占比例很小,

如:1997年占0.9%、2006年占1.1%,因此变化不明显。除此之外,其他的农业废弃物利用方式所占的比例在近10a内变化不大,只是在2002年出现波动,并且出现最大值27%,这表明福建省将农业废弃物作为畜禽饲料、工业原料等的技术还不太成熟,并且没有被人们广泛认可,尤其是将农业废弃物作为畜禽饲料,人们对于畜禽的养殖重点放在生长期短、早出栏上面,喂食粮食合成饲料比重较大,就忽略了对农业废弃物作为饲料的重视,然而研究表明^[12],农业废弃物作为畜禽饲料同样有早出栏、生长快的效果。未利用而直接废弃的农业废弃物所占比例呈上升的趋势,这一部分废弃物资源不仅被浪费掉,而且还严重污染了环境,亟待有关部门采取解决措施,促使农业废弃物合理利用以及环境得到保护和改善。

3.3 农业废弃物生态足迹分析

福建省1997—2006年农业废弃物各种利用方式的能值流向计算结果(表4)。 p_1 采用统一值,全国农业废弃物按照秸秆6亿t、畜禽粪便26亿t计算出总能值为 3.05×10^{23} sej,全国土地面积为 9.6×10^8 hm^2 ,求出 p_1 值为 3.18×10^{14} sej/ hm^2 ^[13]。由于所求为农业废弃物利用的人均生态承载力和人均生态足迹,因此计算时均采用福建省农村人数,数据来源于《福建省统计年鉴》。 P_2 值为福建省年农业废弃物能值比上福建省土地面积 1.21×10^7 hm^2 ,计算出福建省1997—2006年农业废弃物人均生态承载力和人均生态足迹结果(表5)。

从表5中可以看出,1997—2006年福建省将农业废弃物作为生活能源的人均生态足迹整体来说逐渐增大,而作为肥料还田的人均足迹在逐渐减小,这两部分在福建省农业废弃物利用方式人均足迹中占主导地位。

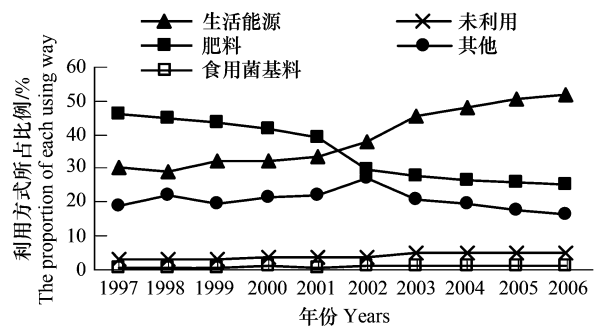


图3 近年来农业废弃物各利用方式所占比例变化情况
Fig. 3 The change of proportion of utilization ways of agricultural wastes in years

由于用作食用菌基料的农业废弃物(主要是秸秆)能值量较少,其变化很难反映出来。其他一些农业废弃物利用方式的人均足迹在不断减少,但是没有利用处理而直接废弃的农业废弃物人均足迹却在增加。由表 5 中的数据可得出,近 10a 来福建省农业废弃物利用方式的人均生态足迹在逐渐减小,如 1996 年为 $1.03\text{hm}^2/\text{人}$,到 2006 年为 $0.91\text{hm}^2/\text{人}$,年均生态足迹为 $0.963\text{hm}^2/\text{人}$;福建省农业废弃物利用方式的生态承载力却在增加,如 1996 年为 $2.07\text{hm}^2/\text{人}$,到 2006 年增加到 $2.45\text{hm}^2/\text{人}$,年均生态承载力为 $2.262\text{hm}^2/\text{人}$ 。很明显,福建省 1996—2006 年间农业废弃物的处于生态盈余状态,并且逐渐增大,近 10a 来农业废弃物再利用的年均生态盈余值为 $1.299\text{hm}^2/\text{人}$ 。

表 5 福建省 1997—2006 年农业废弃物利用处理方式人均生态足迹与生态承载力比较/($\text{m}^2/\text{人}$)

Table 5 Comparison with ecological footprint and ecological carrying capacity of using ways of agricultural wastes in Fujian from 1997 to 2006/($\text{hm}^2/\text{person}$)

年份 Year	生活能源 Domestic energy	肥料 Fertilizer	食用菌基料 Base of edible fungus	未利用 Unutilization	其他 Others	生态足迹 Ecological footprint	生态承载力 Ecological carrying capacity	生态盈余 Ecological surplus
1997	0.31	0.48	0.01	0.03	0.20	1.03	2.07	1.04
1998	0.29	0.45	0.01	0.03	0.23	1.01	2.16	1.14
1999	0.33	0.44	0.01	0.03	0.20	1.00	2.20	1.20
2000	0.31	0.40	0.01	0.04	0.21	0.97	2.17	1.20
2001	0.32	0.38	0.01	0.04	0.21	0.96	2.21	1.24
2002	0.36	0.29	0.01	0.04	0.26	0.95	2.24	1.29
2003	0.43	0.26	0.01	0.05	0.20	0.95	2.29	1.35
2004	0.44	0.25	0.01	0.04	0.18	0.93	2.39	1.47
2005	0.47	0.24	0.01	0.05	0.16	0.92	2.44	1.52
2006	0.47	0.23	0.01	0.05	0.15	0.91	2.45	1.54

4 结语

通过对福建省 1997—2006 年来农业废弃物(包括农作物秸秆和畜禽粪便)利用处理方式的能值流向估算,并且采用能值与生态足迹相结合的方法,对福建省农业废弃物再利用方式的合理性进行评估。结果表明,福建省近 10a 来农业废弃物利用方式的年均生态足迹为 $0.963\text{hm}^2/\text{人}$,其年均生态承载力为 $2.262\text{hm}^2/\text{人}$,从而得出福建省农业废弃物利用方式年均生态盈余为 $1.299\text{hm}^2/\text{人}$,这说明福建省农业利用方式还存在拓展空间。尤其是未经利用处理直接废弃的农业废弃物,如果能合理利用处理,必定会带来社会效益和环境生态效益的双赢。

References:

- [1] Zhang J S, Tong Y A, Yun W X, Zhou J. Analysis on utilization status and prospect of agricultural wastes being resource in Shanxi. *Phosphate and Compound Fertilizer*, 2008, 23(5): 52-54.
- [2] Yin L Q, Liu J. Research on agricultural solid wastes and being resource utilization. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008, 14: 290-291.
- [3] Huang T Z. An analysis on the system of climate resources and environment in Fujian's sustainable agricultural development. *Fujian Geography*, 2004, 19(1): 9-13.
- [4] Lin Q. The Integration and Optimal Allocation of Agricultural Resources Below the Frame of WTO in Fujian and Taiwan, Beijing: China Agricultural Publishing House, 2004: 1-15.
- [5] Lan S F, Qin P, Lu H F. *Emergy Synthesis of Ecological Economic Systems*. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 11-76.
- [6] Liu G, Shen L. Quantitive appraisal of biomass energy and its geographical distribution in China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 9-19.
- [7] Ding J H. The pollution of poultry and animal feces and the countermeasures in Guangzhou. *Research of Environmental Sciences*, 2000, 13(3): 57-59.

- [8] Yu F H, Liu Y Z. Analysis on social effect of biogas utilization each household in Fujian. *Science and Technology Information*, 2008, 31: 343.
- [9] Zhu L Z, Qiu J. Recycling of agricultural wastes. *Environmental Protection*, 2009, 4: 8-10.
- [10] Li S T, Liu R L, Shan H. Nutrient contents in main animal manures in China. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2009, 28(1): 179-184.
- [11] Yao B Q, Zhang Y C. The fertilizer issues and countermeasures of agricultural sustainable development in Fujian. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2001, 6: 31-32.
- [12] Liu X Y, Wen S Z, Ji H F. Being dietary and reuse of livestock and poultry manure. *Journal of Animal Husbandry and Veterinary*, 1989, 4: 41-42.
- [13] Wang J Y, Chen Y C, Li M H, Feng J S. Ecological footprint of Shandong Province based on emergy analysis. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9): 1505-1510.

参考文献:

- [1] 张金水, 同延安, 云伟祥, 周军. 陕西省农业废弃物养分资源肥料化利用现状与前景分析. *磷肥与复肥*, 2008, 23(5): 52-54.
- [2] 尹连庆, 刘静. 农业固废污染物分析与资源化利用的研究. *现代农业科技*, 2008, 14: 290-291.
- [3] 黄铁庄. 福建农业可持续发展的气候资源环境系统分析. *福建地理*, 2004, 19(1): 9-13.
- [4] 林卿. 世贸组织框架下闽台农业资源整合与优化配置. 北京: 中国农业出版社, 2004: 1-15.
- [5] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002: 11-76.
- [6] 刘刚, 沈镭. 中国生物能资源的定量评价及地理分布. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 9-19.
- [7] 丁疆华. 广州市畜禽粪便污染与防治对策. *环境科学研究*, 2000, 13(3): 57-59.
- [8] 余飞虹, 刘叶志. 福建省户用沼气利用的社会效益分析. *科技信息*, 2008, 31: 343-343.
- [9] 朱立志, 邱君. 农业废弃物的循环利用. *环境保护*, 2009, 4: 8-10.
- [10] 李书田, 刘荣乐, 陕红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析. *农业环境科学学报*, 2009, 28(1): 179-184.
- [11] 姚宝全, 张宜昌. 福建省农业可持续发展中的肥料问题. *福建农业科技*, 2001, 6: 31-32.
- [12] 刘新元, 文树桢, 姬鸿甫. 畜禽粪便饲料化与再利用. *畜牧兽医杂志*, 1989, 4: 41-42.
- [13] 王建源, 陈艳春, 李曼华, 冯建设. 基于能值分析的山东省生态足迹. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1505-1510.