

# 户用沼气工程发展对农田养分流动的影响

汤云川<sup>1</sup>, 张卫峰<sup>1\*</sup>, 张福锁<sup>1</sup>, 马文奇<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 河北农业大学资源与环境学院, 保定 071001)

**摘要:** 该文采用养分流的分析方法, 对比分析 2007 年中国 13 个沼气发展省份沼气农户和非沼气农户农田养分管理行为的差异。结果显示: 两类农户单位面积化肥用量和秸秆还田率方面没有明显差异, 部分地区沼气农户生活燃料比例明显减少, 但地头秸秆燃烧情况加剧; 粪尿养分还田率有较大不同, 非沼气农户粪尿直接还田率达到 96%, 沼气农户只有 39%, 沼气农户大量粪尿进入沼气池, 但只有 33% 的养分被利用, 沼肥养分仅占沼气农户养分输入总量的 9%。综合比较, 沼气农户家庭有机养分比重仅有 24%, 而非沼气农户达到了 43%; 这导致了沼气农户单位面积养分输入总量为 781.62 kg/hm<sup>2</sup>, 显著低于非沼气农户的 850.82 kg/hm<sup>2</sup>。沼气农户的废弃物养分循环利用率只有 45%, 而非沼气农户达到 70%。研究结果表明中国沼气农户并没有因为沼气发展而提高养分再利用, 沼肥对化肥的替代效果没有表现出来, 导致有机资源浪费。因此, 必须加强沼气农户的技术培训, 加强沼肥的还田力度, 提高养分循环利用率, 充分发挥沼气对家庭养分资源再利用的优势。

**关键词:** 养分, 沼气, 作物, 农户行为, 循环利用

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.035

中图分类号: F205

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0192-08

汤云川, 张卫峰, 张福锁, 等. 户用沼气工程发展对农田养分流动的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 192—199.  
Tang Yunchuan, Zhang Weifeng, Zhang Fusuo, et al. Effect of household biogas project development on farmland nutrient flow[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 192—199. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

随着人口的持续增长, 资源短缺、环境污染、生产力低成为制约中国农业可持续发展的关键问题。面临这样的情况, 生态农业工程建设成为中国农业可持续发展的有效途径和必然选择<sup>[1]</sup>, 其中以沼气工程建设开展得最为广泛。以沼气为纽带的生态农业模式可将大量的秸秆、粪尿等农业有机废弃物进行物质和能量的转化<sup>[2]</sup>, 它将原来松散的种植业和养殖业结构变成了完整相连的一体, 并实现了资源的合理循环利用<sup>[3]</sup>。有文献报道称农业废弃物经过沼气发酵后形成沼渣沼液, 氮磷钾营养元素约有 90% 进入沼肥保存<sup>[4]</sup>, 而且还含有丰富的氨基酸和微量元素, 可作为优质有机肥, 提高作物产量<sup>[5]</sup>, 改善土壤状况<sup>[6]</sup>, 可使生态系统的能量流动和物质循环得以完善<sup>[7]</sup>, 提高物质利用率, 有效控制农业面源污染, 促进农业可持续发展<sup>[8]</sup>。但这样的资料多来自田间肥效试验, 农户层面的沼肥施用管理情况未见报道。中国户用沼气池一般以 8 m<sup>3</sup> 的容积最为常见<sup>[9-11]</sup>, 在提供生活用能的同时可以产生 9 t 沼渣沼液<sup>[12]</sup>, 如果其中的养分得以合理利用, 则能在一定程度上减少化学肥料的投入。国家规划到 2010

年, 沼气农户将达到 4 000 万户, 使用沼渣、沼液替代化肥和农药, 改良土壤 333 万 hm<sup>2</sup>, 这对于全国肥料生产和施用无疑具有极大的意义<sup>[11]</sup>。因此现阶段在农户层面上开展农田养分管理及沼肥利用情况的定量研究, 规范农户的养分管理行为成为十分重要的议题。该文基于此目标, 采用调查问卷、入户座谈等方式采集数据, 在对 13 个省份的 350 户农户调查取证的基础上, 运用养分流的方法对比分析沼气农户和非沼气农户 2007 年在农田养分输入量、流失量方面的差异和各自特点, 量化说明沼气建设对农田养分流动的影响, 为沼气的良性发展和农业养分资源的优化利用提供借鉴依据。

## 1 研究背景

### 1.1 研究方法

2008 年 1—3 月在全国不同气候带和 5 大沼气发展区域上, 选择 13 个县进行了沼气专题调研, 调查地点均为沼气建设国债项目县, 地跨 12 个省(自治区)。调研地点分别为: 西南地区(A.四川西昌、B.广西百色); 西北地区(C.陕西合阳、D.陕西泾阳、E.新疆哈密、F.甘肃临泽); 东南丘陵区(G.湖南龙山、H.江西吉安); 黄淮海地区(I.河北冀州、J.河南项城); 东部地区(K.山东临沂、L.江苏射阳、M.浙江海宁), 以 NB 代表非沼气农户, B 代表沼气农户。每一个地点选择 15 个沼气农户, 并在同村或邻村选择 15 个种植结构、养殖规模、家庭结构类似的非沼气农户作为对照, 总共回收有效样本: 沼气农户 176 户, 非沼气农户 174 户。此次调研的地点很好地代表了中国主要沼气发展区域的现状。

养分流动(nutrient flow)分析方法是基于投入产出

收稿日期: 2008-11-13 修订日期: 2009-05-23

基金项目: 公益性行业科研专题(200803030); 中国农业大学科研启动基金(2008010); 创新群体基金(No.30821003)

作者简介: 汤云川(1984—), 男, 四川西昌人, 主要从事新能源高效利用研究。北京 中国农业大学资源与环境学院植物营养系, 100193。

Email: tindric@163.com

\*通信作者: 张卫峰(1978—), 男, 甘肃正宁人, 博士, 主要从事化肥产业相关竞争力、资源、环境效益研究。北京 中国农业大学资源与环境学院植物营养系, 100193。Email: wfzhang@126.com

模型提出来的、以物质平衡理论为基础的分析方法，是目前国际上研究农业系统的物质循环和系统与环境的交互作用通常方法之一<sup>[13]</sup>。本研究借助养分流动分析方法，以 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 为研究对象，对农田养分流：养分输入和养分流失两个方面进行了分析。本研究考虑的养分输入主要来自化肥养分、粪尿养分、秸秆养分和沼肥养分；养分流失项目为未进入农田的秸秆中的养分，以及人畜粪尿流失的养分。

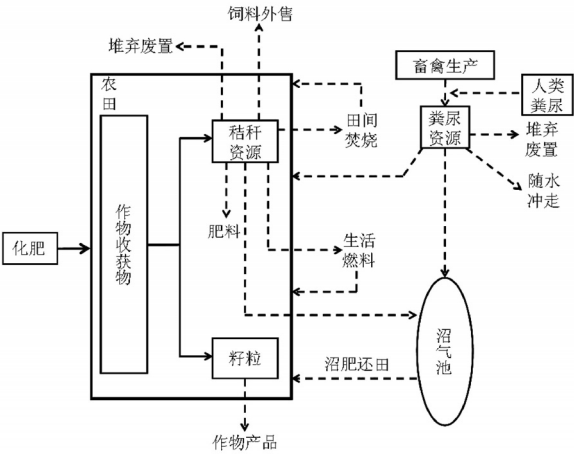


图 1 农田养分流动体系示意图  
Fig.1 Diagram of nutrient flow in farmland

1.2 农田养分流动体系的参数确定

1.2.1 农田养分输入量的确定

农田养分流动体系的输入项目包括化肥、秸秆和人畜粪尿还田的有机肥，沼气农户还包括沼肥的输入（大气沉降、种子以及土壤本身养分供应量在本研究中不考虑）。

$$I_Q = \left[ \sum_i^n (F_i \times F_{NPK} + CR_i \times CR_{NPK} + D_i \times D_{NPK} + R_i \times R_{NPK}) \right] / A_Q$$

式中： $I_Q$ ——2007 年  $Q$  地区农户单位播种面积 N、P、K 养分输入量（其中 P 素折用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 表示，K 素折用 K<sub>2</sub>O 表示，无特殊说明下同）； $F_i$ —— $Q$  地区第  $i$  个农户化肥实物输入量； $CR_i$ ——该农户秸秆回田实物量； $D_i$ ——该农户粪尿回田实物量； $R_i$ ——该农户沼肥回田实物量（沼气农户）； $F_{NPK}$ 、 $CR_{NPK}$ 、 $D_{NPK}$ 、 $R_{NPK}$ ——以上 4 种肥源的养分含量（氮、磷、钾的含量用下标字母 N、P、K 表示）； $A_Q$ —— $Q$  地区的总播种面积。

化肥养分的输入量是由调查数据中每户各种化肥的实物输入量与化肥养分含量确定。

秸秆养分输入量由秸秆回田实物量与秸秆养分含量的乘积确定。农作物秸秆资源主要包括粮食作物、油料作物、棉花、麻类和糖料作物 5 大类<sup>[14]</sup>，由农作物产量计算得到，综合考虑本次调查的实际情况，按需要选取了秸秆籽粒比系数（表 1）<sup>[14-25]</sup>。秸秆处理方式与秸秆养分输入量直接相关，本文将秸秆去向分为 6 类：肥料、饲料外售、沼气原料、田间焚烧、生活燃料和堆置废弃<sup>[26]</sup>。需要特别说明的是，秸秆作肥料时假定全部氮磷钾养分还田；作生活燃料时假定 90%的磷和钾还田，氮全部损

失；而田间焚烧时假定 100%的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 被还田利用<sup>[27-28]</sup>，而氮全部损失。主要作物秸秆养分质量分数采用《中国有机肥料养分志》<sup>[12]</sup>中各种作物秸秆养分质量分数的平均值（烘干基）。

表 1 农作物秸秆籽粒比系数

Table 1 Parameters of different ratios of crop straw to grain					
水稻	小麦	玉米	棉花	豆类	花生
1.0	1.1	2.0	3	1.6	1.5
薯类	油菜籽	谷子	其他谷物	甘蔗	
0.5	3.0	1.6	1.6	0.1	

粪尿养分输入量由粪尿回田实物量和粪尿养分含量的乘积确定。根据畜禽每日粪尿产生量和饲养周期，就可以估算饲养周期内畜禽粪尿排放量。由于各类畜禽生长期不一样，本研究在查阅文献资料的基础上确定了畜禽的饲养周期<sup>[29-31]</sup>，不同种类单位畜禽的排泄参数如表 2 所示<sup>[32-33]</sup>。粪尿处理方式分为 4 类：沼气原料、肥料、堆置废弃、随水冲走。粪尿养分质量分数采用《中国有机肥料养分志》<sup>[12]</sup>中各类粪尿养分质量分数的平均值。根据研究的需要，此处仅将直接还田的粪尿养分定义为肥料用途（并忽略施用过程中的养分损失），进入沼气的粪尿资源作为再循环利用，不在此处表述。

表 2 畜禽粪尿排放参数

Table 2 Parameters of animal excreta			
种类	日排放量/(kg·d <sup>-1</sup> )	饲养周期/d	周期内排放量/t
猪	5.30	199	1.05
役用牛	27.67	365	10.10
肉牛	21.10	365	7.70
奶牛	53.15	365	19.40
马	16.16	365	5.90
驴、骡	13.70	365	5.00
羊	2.38	365	0.87
蛋鸡	0.29	180	0.053
肉鸡	0.10	55	0.0055
鸭、鹅	0.19	210	0.039
兔	0.46	90	0.041

注：人的排泄周期按一年 365 d 计算，排泄量为 0.69 t。

沼肥养分输入量由沼肥还田数量与相应的养分含量乘积关系确定，沼肥的养分含量引自相关文献<sup>[12]</sup>。沼肥还田数量由农户参与式调查协助完成。

1.2.2 农田养分流失量的确定

本文根据研究需要将养分流失项目定义为人畜粪尿流失量与未输入农田的秸秆养分之和。未输入农田的秸秆养分包括经田间焚烧、作生活燃料燃烧过程中损失的养分（田间焚烧损失全部氮素，磷钾不损失；作生活燃料损失全部氮素和 10%的磷钾），以及堆置废弃和作饲料未进入农田的养分；人畜粪尿流失量是堆置废弃与随水冲走两种处理方式损失的养分。

1.2.3 农户养分循环利用效率

本文将农田养分流动体系的废弃物养分循环利用率定义如下：养分循环利用效率=（秸秆输入养分+粪尿输入养分+沼肥输入养分）/废弃物总养分；废弃物包括秸秆和人

畜粪尿。它用于评价农户家庭废弃物养分循环利用效率的高低,从养分角度反映农户养分利用方式的优良程度。

2 结果与分析

2.1 调查地区农户家庭基本情况及沼气利用情况

经过分析 176 个沼气农户和 174 个非沼气农户,发

现 2007 年同一地区沼气农户和非沼气农户家庭人口数、耕地播种面积、生猪的饲养规模没有显著差异;但收入总量和收入结构有明显不同,除个别地区外,沼气农户家庭年均收入明显高于非沼气农户,且家庭农业收入比重低于非沼气农户。这说明沼气工程主要建设在经济条件较好,非农业收入比例高的农户家庭(表 3)。

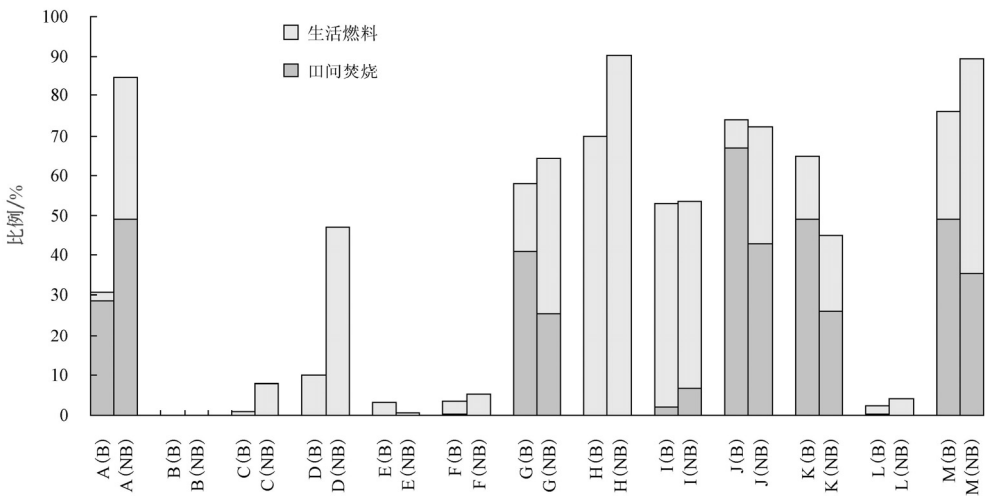
表 3 2007 年各地区两类农户家庭情况  
Table 3 State of family of two types of farmers in different areas in 2007

地区	沼气农户					非沼气农户				
	家庭人口/人	户均耕地/hm <sup>2</sup>	猪/头	年均收入/元	农业收入比/%	家庭人口/人	户均耕地/hm <sup>2</sup>	猪/头	年均收入/元	农业收入比/%
四川西昌	5.5	0.62	4	20 533	54	3.9	0.39	4	11 467	58
广西百色	4.5	0.38	1	6 467	98	4.6	0.36	0	6 867	100
陕西合阳	4.6	0.73	2	19 667	50	4.7	1.00	1	16 533	47
陕西泾阳	4.7	0.77	0	12 467	49	4.3	0.72	0	8 273	42
新疆哈密	3.9	2.91	1	29 267	87	4.2	3.43	1	29 733	80
甘肃临泽	3.6	1.17	0	24 400	76	3.7	0.93	0	26 800	83
湖南龙山	4.9	0.32	6	44 000	23	4.4	0.32	3	25 000	31
江西吉安	3.7	0.81	3	12 733	48	3.5	1.00	5	10 000	65
河北冀州	5.1	1.36	3	21 000	75	4.4	1.40	0	17 667	76
河南项城	5.2	0.72	4	19 000	58	3.6	0.42	11	31 429	88
山东临沂	3.3	0.61	9	23 940	57	3.1	0.63	1	27 000	62
江苏射阳	4.5	1.16	0	31 000	43	3.5	0.92	0	26 600	79
浙江海宁	4.5	0.28	25	39 067	22	4.7	0.25	8	36 667	9
平均	4.5	0.92	5	23 349	48	4.0	0.93	3	21 079	59

2.2 两类农户秸秆处理方式

调查结果表明,整体上 2007 年沼气农户的秸秆利用方式中以饲料外售用量最多,占沼气农户秸秆实物资源量的 37%,其次是肥料用量与作生活燃料处理,分别占沼气农户秸秆实物资源量的 35%和 11%,其他利用方式如田间焚烧为 8%,堆置废弃为 7%,秸秆作沼气原料的比例只有 2%左右,以水稻秸秆为主;无沼气农户的秸秆同样以饲料外售的比例最高,占无沼气农户秸秆实物资源量的 39%,其次为肥料用量,占秸秆总量的 38%左右,而堆置废弃与作生活燃料比例分别为 5%和 13%,田间焚

烧量仅为 5%,低于沼气农户 8%的水平。但同一地区两类农户秸秆作生活燃料和田间焚烧的比例却有明显不同(图 2)。同一地区,沼气农户 2007 年秸秆作生活燃料的比例普遍低于非沼气农户,但有 62%的沼气农户秸秆田间焚烧比例均超过非沼气农户。例如河南项城秸秆作生活燃料的平均比例沼气农户为 7%,非沼气农户为 29%,说明沼气发展对减少秸秆作生活燃料比例有明显促进作用;但该地区沼气农户的秸秆田间焚烧比例达到 67%,而非沼气农户该比例是 43%,这说明沼气发展反而导致了部分地区秸秆田间焚烧量的增加。



注: A, B...M 代表调查地区; NB 为非沼气农户, B 为沼气农户

图 2 2007 年两类农户秸秆田间焚烧和作生活燃料比例  
Fig.2 Percent of straws for field-burning and household fuel of two types of farmers in 2007

2.3 两类农户人畜粪尿处理方式

调查结果表明沼气发展对人畜粪尿的处理产生了影响（表 4），2007 年非沼气农户的人畜粪尿直接还田率达到了 96%，而沼气农户仅有 39%。沼气农户的人畜粪尿接近 60%用作沼气发酵原料。在所有作肥料的大型牲口粪尿类型中，沼气农户还田率超过 80%的粪尿种类有役用牛粪、羊粪和驴粪；与此相比，非沼气农户除了马粪的还田率较低外，其他种类畜禽粪尿的还田率都很高。两类农户将粪尿作为堆置废弃和随水冲走的处理比例都不超过 5%，避免了粪尿随意排放所带来的更大的环境风险。这说明，家庭人畜粪尿是户用沼气发酵系统得以稳定运行的必需原料。由于沼气运行的需要，沼气农户家庭粪尿养分直接进入农田土壤的比例降低。

表 4 2007 年两类农户各种粪尿处理方式及比例  
Table 4 Mode and percent of excreta utilizations of two types of farmers in different areas in 2007

粪尿种类	沼气农户				非沼气农户			
	肥料	堆置废弃	随水冲走	沼气原料	肥料	堆置废弃	随水冲走	
猪	1	0	1	98	93	7	0	
役用牛	80	0	0	20	100	0	0	
肉牛	64	3	0	36	98	2	0	
奶牛	35	0	0	65	100	0	0	
绵羊	80	0	0	20	78	8	14	
山羊	84	11	0	5	100	0	0	
马	18	0	0	82	59	41	0	
驴	82	2	0	16	100	0	0	
鸡	55	7	0	38	94	5	1	
鸭	20	0	0	80	100	0	0	
兔	100	0	0	0	100	0	0	
鸽	0	0	0	100	100	0	0	
人	0	0	0	100	100	0	0	
骡	0	20	10	70	-	-	-	
鹅	70	0	0	30	-	-	-	
平均	39	1	0.2	59.8	96	1	3	

2.4 两类农户化肥养分输入量的差异

表 5 显示的结果是两类农户 2007 年单位面积化肥总输入量，由于选择同一调查地的两类农户种植结构没有显著差异，因此没有进行作物体系的划分。总体上沼气农户的化肥施用量与非沼气农户大致持平，两类农户的化肥用量没有显示出一定的差异规律，户用沼气工程的使用并没有明显降低化肥的用量，而且部分地区沼气农户的化肥用量反而高于非沼气农户，这是由于沼气农户大量粪尿养分进入沼气池，为了维持作物产量，只能追加化肥投入。在一些调查地区，沼气农户经济条件好于

非沼气农户，且农业收入比重低于非沼气农户，化肥购买量和输入量也都相对较高。

表 5 2007 年两类农户单位面积全年化肥养分输入量  
Table 5 Fertilizer nutrient putting to field in unit area of two types of farmers in 2007 kg·hm<sup>-2</sup>

调查地区	沼气农户-非沼气农户			非沼气农户		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
四川西昌	-88.8	+53.1	-25.7	338.7	148.8	119.6
广西百色	+36.5	-14.9	-14.9	429.4	143.1	143.1
陕西合阳	+166.84	+51.29	-23.63	242.71	146.30	71.45
陕西泾阳	+132.5	-16.7	+12.8	237.8	151.1	7.5
新疆哈密	+0.3	+20.2	-15.3	369.8	89.0	40.7
甘肃临泽	-93.41	-46.75	-13.77	366.93	101.80	28.12
湖南龙山	+129.3	+53.8	+28.8	286.5	82.3	86.6
江西吉安	-167.40	+17.72	+17.72	359.15	56.25	56.25
河北冀州	+110.4	-1.4	-1.4	180.4	71.3	51.2
河南项城	-3.5	+6.3	-7	134.7	61.9	65.3
山东临沂	+48.9	+34.2	+35.8	293.6	138.0	140.8
江苏射阳	-81.01	-40.59	-4.26	329.60	85.43	8.57
浙江海宁	+113.1	+46	+4.5	436.7	44.9	1.1
平均	+23.4	+12.5	-0.5	308.2	101.6	63.1

2.5 沼肥养分输入量及还田比例

进入沼气池的各种有机物质经过厌氧发酵以后大量的氮磷钾养分被保留下来，但这些养分是否被再次利用成为影响家庭养分流动的关键。各地由于农户日常维护沼气系统的技术水平不同，沼肥的处理方式存在着较大的差异。2007 年除浙江海宁外，其他地区的沼气农户都有进行沼肥清理并回田的行为，进行沼肥清理的沼气农户占总数的 73%。根据上文的结果，沼气农户有 59.8%的粪尿实物资源进入了沼气池，养分量占粪尿养分总量的 73.73%；秸秆有 2%左右的实物资源进入了沼气池，其养分量占秸秆养分总量的 1.71%。照此计算，假设沼气发酵过程中没有养分的损失，并且沼肥全部还田，理论上 2007 年沼肥的输入量应为 250.88 kg/hm<sup>2</sup>，但将各户清理并利用的沼肥养分含量经过加权平均后，沼肥实际养分输入量为 68.88 kg/hm<sup>2</sup>，仅为理论输入量的 27%，沼肥对进入沼气池的粪尿、秸秆养分的回收利用率平均只有 33%，仅河北冀州、湖南龙山、四川西昌等少数地区的养分回收率较高（表 6）。沼肥没有被大量使用与几个因素有关，其中沼肥养分含量低不受农户重视是关键，而农户尚没有掌握施用沼肥的相关技术也是重要的制约因素。

表 6 沼肥对发酵原料养分的回收利用率  
Table 6 Biogas residue for the nutrient recovery efficiency of raw materials %

调查地区	四川西昌	广西百色	陕西合阳	陕西泾阳	新疆哈密	甘肃临泽	湖南龙山
回收率	68	0	55	9	20	20	89
调查地区	江西吉安	河北冀州	河南项城	山东临沂	江苏射阳	浙江海宁	平均
回收率	7	93	7	5	18	0	33

2.6 两类农户农田养分流动去向

通过图 3、图 4 的对比，说明沼气进入农户家庭后延长了农田养分流动的链条，改变了秸秆资源、粪尿资源的处理方式，对农田养分流动体系产生了较大的影响。结果显示沼气的引入改变了农村传统的用能模式，减少了秸秆用作生活燃料的比例，但同时大量剩余的秸秆闲置在田间地头，农民为了控制劳动成本，往往付之一炬。沼气要消耗大量的人畜粪尿作为沼气工程顺利运行的稳定原料，导致了沼气农户人畜粪尿直接还田水平不

到非沼气农户的 50%，而沼肥对发酵原料的回收利用率仅有 33%，这就使得沼气农户人畜粪尿的综合利用力大为弱化。从数量上分析，非沼气农户养分投入量总体高于沼气农户。沼气农户的农田养分输入量为 781.62 kg/hm<sup>2</sup>，其中化肥、秸秆、粪尿、沼肥的输入比例依次为 65%、15%、11%、9%；非沼气农户农田养分输入量为 850.82 kg/hm<sup>2</sup>，其中化肥、秸秆、粪尿的输入比例依次为 56%、14%、30%。因此沼气农户应加大沼肥还田力度，充分发挥粪尿资源的潜力。

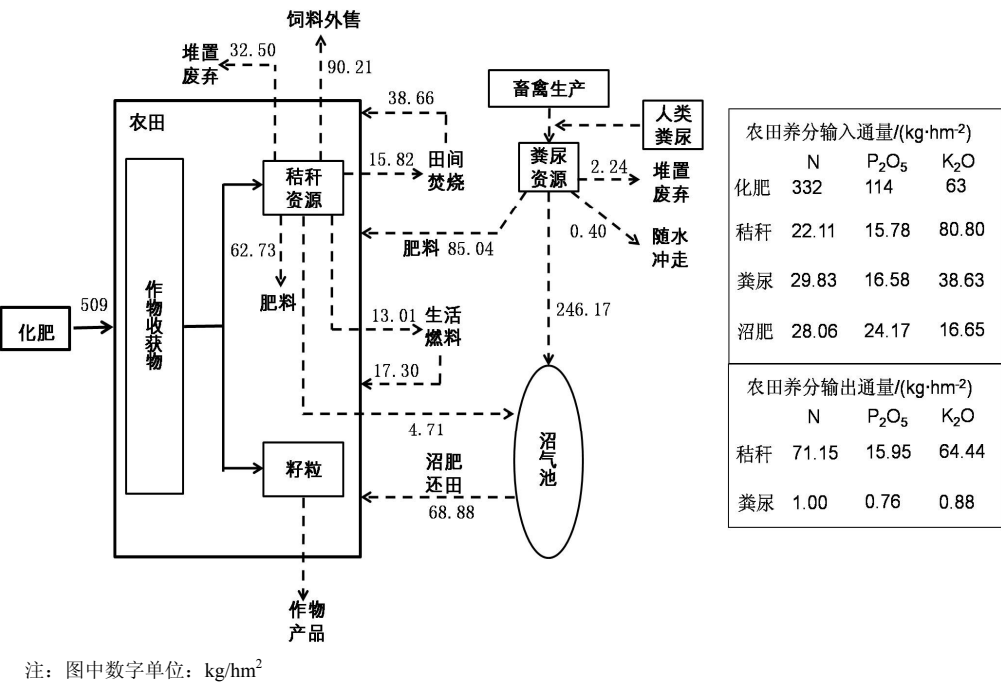


图 3 沼气农户农田养分流动  
Fig.3 Nutrient flow of farmland of biogas farmers

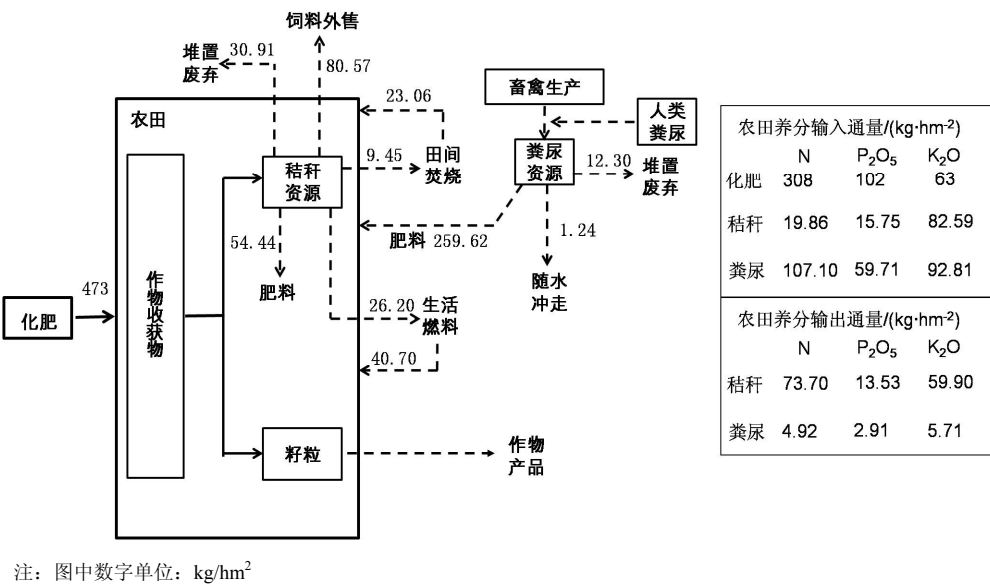


图 4 非沼气农户农田养分流动  
Fig.4 Nutrient flow of farmland of no-biogas farmers

对两类农户单位播种面积养分输入量经过 T 检验， $F=2.920$ ，方差相等概率为  $0.088>0.05$ ，因此选用方差相

等一行的结果来进行分析。在方差相等一行中， $P=0.049$ ，因此可以认为两类农户单位播种面积养分输入量有统计

学意义，即两类农户的养分输入量有显著差异。

在流失量方面，沼气农户养分流失量为 154.19 kg/hm<sup>2</sup>，其中秸秆和粪尿流失量为 151.55 kg/hm<sup>2</sup>和 2.64 kg/hm<sup>2</sup>；非沼气农户养分流失量为 160.67 kg/hm<sup>2</sup>，其中秸秆和粪尿流失量为 147.13 kg/hm<sup>2</sup>和 13.54 kg/hm<sup>2</sup>。

表 7 独立样本 T 检验计算所得统计量  
Table 7 T-test group statistics for independent samples

	农户类型	样本量	平均值	标准差	标准误差
单位面积养分输入量	沼气农户	176	781.62	443.05	48.47
	非气农户	174	850.82	594.94	45.10

表 8 独立样本 T 检验计算结果  
Table 8 Results of t-test for independent samples

方差相等的 Levene 检验					均数相等检验				
	F	方差相等概率	t	自由度	双尾检验概率	均数之差	均数差标准误	95%置信区间	
								下限	上限
人均能耗	方差相等	2.920	0.088	-1.820	348	0.049	-120.6	66.24	-250.85 9.71
	方差不等			-1.821	346	0.049	-120.7	66.21	-250.80 9.65

注：在 5%的显著水平下检验。

2.7 两类农户养分循环利用率

根据对废弃物养分循环利用率的定义，2007 年沼气农户户均废弃物养分总量为 609 kg/hm<sup>2</sup>，其中农田输入量为 272.62 kg/hm<sup>2</sup>，养分循环利用为 45%；非沼气农户户均废弃物养分总量为 539 kg/hm<sup>2</sup>，其中农田输入量为 377.82 kg/hm<sup>2</sup>，养分循环利用率为 70%。这是由于沼肥中产出的养分量只有进入沼气池养分（粪尿和秸秆养分）的 33%左右，降低了农田养分输入量，因此沼气农户的废弃物养分循环利用率低于非沼气农户。沼气发展对养分的再循环利用没有起到应有促进作用。

3 讨 论

1) 秸秆养分数量

两类农户秸秆做肥料的输入通量没有太大差异，沼气农户增加了秸秆田间焚烧比例，减少了秸秆做生活燃料的比例，但由于秸秆燃烧过程中只有氮素损失，在田间焚烧后 100%的磷和钾得以回田，做生活燃料的秸秆中有 90%的磷和钾被当作灰分回田，因此尽管两类农户在秸秆田间焚烧和生活燃料的处理比例上有差异，但总体上大量的养分得以还田利用，因此秸秆养分输入通量没有显著差异。

2) 沼肥养分回收率低的原因

(1) 气态损失。De Bode M (1991) 和 J. Webb (2004) 的研究表明，猪粪尿在厌氧发酵过程中，如 pH 值控制不当，NH<sub>3</sub> 挥发系数可分别达到 5%~15%和 2.7%，这是氮素厌氧发酵过程中流失的主要途径<sup>[34-35]</sup>；磷素通常在厌氧环境中与氢结合形成磷化氢气体而逸散到空气中<sup>[36-37]</sup>。尽管气态损失较少，但在中国农户缺乏管理经验的情况下却经常发生。

(2) 液体渗漏。我国沼气池的渗漏标准是一昼夜不大于 3%<sup>[38]</sup>。如果建造技术不过关，或者建池材料随着时间的推移逐渐老化，密封层会受到破坏，在池底交接处很可能出现裂缝、气孔，大量溶解在发酵液中的营养元

素会渗漏到地下，这一部分养分不但不能回田，而且其中的氮磷很有可能进一步引发地下水的酸化和富营养化。目前对沼气池因渗漏而损失的养分报道非常少，通过渗漏损失的养分量难以估计。

(3) 农户出料不彻底。农村沼气池体积较大、较深，出料管和出料口较小，人工出料慢、劳动强度大，尽管现在许多农户采用了机械液肥泵帮助出料，但沼肥中的固体部分浓度高，如活性淤泥等仍淤积在池底，不能完全清除。而在计算沼肥中的养分体积分数时只对农户实际得到的沼肥养分体积分数进行了计算，未被清除的这一部分沼肥养分体积分数没有囊括在内，因此沼肥的输入量整体较低。

4 结论与建议

本文从养分流的角度，对比分析了沼气农户和非沼气农户 2007 年在农田养分管理措施上的差异。调查的结果显示，两类农户 2007 年单位播种面积的养分输入量有显著差异，但化肥养分输入数量上没有明显不同，沼气农户的化肥输入量略高于非沼气农户，这是由于沼气农户的经济状况优于非沼气农户，从而沼气农户有能力进行高投入的农业生产行为，并且沼气农户有机养分投入不足，只能追加化肥用量保证作物产量，从而忽视了施肥的合理性；沼气的建设导致部分地区秸秆作家庭生活燃料比例降低，田间焚烧比例增加，增大了大气污染的可能性，总的秸秆养分还田数量两类农户相差不大。两类农户的粪尿处理方式存在较大的差异，非沼气农户粪尿作肥料的比例高达 96%，而沼气农户仅为 39%，大量的粪尿养分流入沼气池，避免了粪尿养分的损失，降低了农田养分流失量。但很多地区的沼肥处理技术和水平有限，沼肥的养分回收利用率仅 33%，因此导致沼气农户养分循环利用率仅为 45%，低于非沼气农户 70%的水平。

综上所述可以看出沼气发展并没有发挥应有的作

用,如提高废弃物的养分循环利用效率,减少化肥养分投入等。要发挥这方面的作用,需要进行必要的技术指导,加强沼肥还田的宣传力度。本文建议:

第一,沼气主管部门应该设立专门的技术培训队伍,专业的沼肥施用指导机构。在农村设立沼气服务网点,针对各个地区的具体情况,开展沼气知识的宣传和培训活动,引导农民提高综合利用沼气资源的能力。

第二,研究机构要加大对沼肥的研究力度。沼肥的养分特征和综合利用方式仍然需要科学的总结和系统的论证,加强沼肥施用技术、投料工艺、出料方法的创新研究,对提高养分循环利用率有重要意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] 叶旭君,王兆骞,李全胜.以沼气工程为纽带的生态农业工程模式及其效益分析[J].农业工程学报,2000,16(2): 93—96.  
Ye Xujun, Wang Zhaoqian, Li Quansheng. Biogas project linked Eco-agricultural engineering model and its benefit analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(2): 93—96. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张无敌,宋德彬,宋洪川.沼气发酵系统在生态农业中的地位 and 作用[J].生态农业研究,1994,2(1): 56—61.  
Zhang Wudi, Song Debin, Song Hongchuan. Position and functions of anaerobic digestion in Eco-agriculture[J]. Eco-Agriculture Research, 1994, 2(1): 56—61. (in Chinese with English abstract)
- [3] 方淑荣.大力开发沼气促进农业的持续发展[J].中国沼气,2003,21(2): 43—44, 50.
- [4] 施骏,陶学军,童有怀.施用沼肥对补充磷钾肥和改良土壤的探讨[J].中国沼气,1996,14(1): 27—29.
- [5] 王远远,刘荣厚.沼液综合利用研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(4): 1089—1091.  
Wang Yuanyuan, Liu Ronghou. Progress of comprehensive utilization of biogas slurry[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2007, 35(4): 1089—1091. (in Chinese with English abstract)
- [6] 毛羽,张无敌.以沼气为纽带的生态农业模式效益分析[J].中国沼气,2005,23(3): 36—39.
- [7] 方淑荣.以沼气为纽带的生态农业循环经济模式[J].农业与技术,2007,27(2): 136—139.  
Fang Shurong. Studying on models of eco-agricultural circular economy with biogas as a link[J]. Agriculture & Technology, 2007, 27(2): 136—139. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王美娟.沼气建设在农业可持续发展中的作用[J].农业与环境发展,2008,(2): 31—33.
- [9] 宋洪川.农村沼气实用技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [10] 郝先荣,沈丰菊.户用沼气池综合效益评价方法[J].可再生能源,2006,(2): 4—6.  
Hao Xianrong, Shen Fengju. Evaluation on the composite benefit of household biogas digesters[J]. Renewable Energy, 2006, (2): 4—6. (in Chinese with English abstract)
- [11] 中华人民共和国农业部.全国农村沼气工程建设规划(2006—2010年)[R].北京:中华人民共和国农业部,2007.
- [12] 全国农业技术推广服务中心.中国有机肥料养分志[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [13] Haas G, Caspari B, Kopke U. Nutrient cycling in organic farms: stall balance of a suckler cow herd and beef bulls[J]. Nutrient cycling in Agroecosystem, 64(4): 225—230.
- [14] 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.  
Zhong Huaping, YueYanzhen, Fan Jiangwen. Characteristics of crop straw resources in China and its utilization[J]. Journal of Resources Science, 2003, 25(4): 62—67. (in Chinese with English Abstract)
- [15] 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.  
Han Lujia, Yan Qiaojuan, Liu Xiangyang, et al. Straw resources and their utilization in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(3): 87—91. (in Chinese with English Abstract)
- [16] 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—18.  
Liu Gang, Shen Lei. Quantitative appraisal of biomass energy and its geographical distribution in China[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(1): 9—18. (in Chinese with English Abstract)
- [17] 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.  
Zhang Peidong, Yang Yanli, Li Guangquan, et al. Energy potentiality of crop straw resources in China[J]. Renewable Energy Resources, 2007, 25(6): 80—83. (in Chinese with English Abstract)
- [18] 苑亚茹.我国有机废弃物的时空分布及其利用现状[D].北京:中国农业大学资源与环境学院,2008.  
Yuan Yaru. Study on the temporal and spatial distribution of organic wastes and the utilization in farmland in China[J]. Beijing: College of Resources, China Agricultural University, 2008. (in Chinese with English Abstract)
- [19] 田宜水,孟海波.农作物秸秆开发利用技术[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [20] 全国农业技术推广中心.中国有机肥料资源[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [21] 中华人民共和国国家统计局.新中国五十年农业统计资料[M].北京:中国统计出版社,2000.
- [22] MOA/DOE Project Expert Team. Assessment of biomass resources availability in China[M]. Beijing: China Environment Science Press, 1998.
- [23] 王丽,李雪铭,许妍.中国大陆秸秆露天焚烧的经济学损失研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(2): 170—175.  
Wang Li, Li Xueming, Xu Yan. The economic losses caused by crop residues burnt in open field in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(2): 170—175. (in Chinese with English Abstract)
- [24] 包雪梅.中国有机肥料资源与养分再循环研究[D].北京:中国农业大学资源与环境学院,2002.  
Bao Xuemei. Resource characteristic of organic fertilizer and nutrients recycling in China[J]. Beijing: College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, 2002. (in Chinese with English Abstract)
- [25] 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.

- Zhang Fuchun, Zhu Zhihui. Harvest index for various crops in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1990, 23(2): 83—87. (in Chinese with English Abstract)
- [26] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. *华中农业大学学报*, 2002, 21(3): 242—247. Gao Xiangzhao, Ma Wenqi, Ma Changbao, et al. Analysis on the current status of utilization of crop straw in China[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2002, 21(3): 242—247. (in Chinese with English Abstract)
- [27] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [28] 韩纯儒, 刘铁斌, 程序. 畜牧业在农业生态系统中的地位—家店畜牧业的系统分析[J]. *应用生态报*, 1988, 8(4): 311—317. Han Chunru, Liu Tiebin, Cheng Xu. The role of animal husbandry in an agro-ecosystem-systems analysis of Doudian animal husbandry[J]. *Journal of Acta Ecologica Sinica*, 1988, 8(4): 311—317. (in Chinese with English Abstract)
- [29] 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—292. Peng Li, Wang Dingyong. Estimation of annual quantity of total excretion from livestock and poultry in Chongqing municipality[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(1): 288—292. (in Chinese with English Abstract)
- [30] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 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. Wang Fanghao, Ma Wenqi, Dou Zhengxia, et al. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. *Journal of China Environmental Science*, 2006, 26(5): 614—617. (in Chinese with English Abstract)
- [31] 马林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(8): 170—174. Ma Lin, Wang Fanghao, Ma Wenqi, et al. Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in Northeast China for middle and long period[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8): 170—174. (in Chinese with English Abstract)
- [32] 丁疆华. 广州市畜禽粪便污染与防治对策[J]. *环境科学研究*, 2000, 13(3): 57—59. Ding Jianghua. The pollution of poultry and animal feces and the countermeasures in Guangzhou[J]. *Journal of Research of Environmental Science*, 2000, 13(3): 57—59. (in Chinese with English Abstract)
- [33] 刘晓利, 许俊香, 王方浩, 等. 我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况[J]. *河北农业大学学报*, 2005, 28(5): 28—32. Liu Xiaoli, Xu Junxiang, Wang Fanghao, et al. The resource and distribution of nitrogen nutrient in animal excretion in China[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2005, 28(5): 28—32. (in Chinese with English Abstract)
- [34] De Bode M. Odour and ammonia emissions from manure storage[A]// Neilsen V C, Voorburg J H, L'Hermite P. Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming[C]. London: Elsevier Applied Science, 1991: 59—66.
- [35] Webb J, Misselbrook A T H. Mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38: 2163—2176.
- [36] Gassmann G, Glindemann D. Phosphine(PH<sub>3</sub>) in the biosphere[J]. *Angewandte Chemie: International Edition in English*, 1993, 32: 761—763.
- [37] stván D, Lajos F, Ilona W, et al. Detection of phosphine: new aspects of the phosphorus cycle in the hydrosphere[J]. *Nature*, 1998, 333: 343—345.
- [38] GB 4751—2002, 户用沼气池质量检查验收规范[S].

## Effect of household biogas project development on farmland nutrient flow

Tang Yunchuan<sup>1</sup>, Zhang Weifeng<sup>1\*</sup>, Zhang Fusuo<sup>1</sup>, Ma Wenqi<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** The method of nutrient flow was adopted to compare farmers' nutrient management behaviors in 2007 between biogas and non-biogas farmer's household in 13 investigated sites which included Sichuan, Guangxi, Hebei, et al. provinces. The results showed the total amount of nutrient for putting was only 781.62 kg/hm<sup>2</sup> in biogas household, which was significantly lower than 850.82 kg/hm<sup>2</sup> that put into no-biogas farmers' household. The two groups' farmers had no significant difference in fertilizer and straw nutrient for putting to field per hectare; the amount of straws used as fuel for household was significantly decreasing, while the percentage which was burned in field was increasing in some investigated regions. But the percentage of manure putting into field in no-biogas farmers' household was 96%, and that was only 39% in biogas farmers' household. A great deal of manures put into biogas plants was not recycled into crop field. The percent of nutrient in biogas residue was only 9% of the total amount of nutrient returning to field. From a nutrient recycling view, the nutrient cycling efficiency of biogas farmers was 45%, which was only 64% of that in no-biogas farmers. Therefore, the booming development of biogas system in farmers household did not reduce the consumption of chemical fertilizer, and did not improve the recycling of organic nutrient. Although biogas system in farmers household eliminate nutrient loss from manure in somewhere, the farmers should be trained to use their crop residue properly, to understand the function of biogas residue as fertilizer and to use it reasonably. By this way, biogas system can be really used to improve nutrient problem in China.

**Key words:** nutrients, biogas, crops, farmers' behavior, recycle use