

日本农村循环经济系统磷代谢分析 ——以北海道中札内村为例

石 峰 (山东省科技发展战略研究所/ 山东省科技创新软科学研究基地/ 山东省科学院科学决策支持重点实验室, 山东济南 250014)

摘要: 在介绍日本农村循环经济模式特征的基础上,采用物质流分析方法,选取日本典型农村循环经济模式进行磷代谢分析。结果表明,大量的堆肥和直接还田改善了畜禽排泄物和农村生活对水体环境的影响,但对于减少种植业引起的磷排放未起到关键作用。建议在建设新农村的同时,有必要考虑农村生活—种植业—畜牧业一体化循环经济模式,扩大农村生活废弃物的再资源化量,以减少对系统外环境的污染。

关键词: 农村循环经济; 物质流分析; 磷代谢

中图分类号: X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2013)06-0695-05

Phosphorus Flow Analysis of Rural Circular Economy System in Japan: A Case Study of Nakasatsunai Village in Hokkaido. *SHI Feng* (Institute of Science and Technology for Development of Shandong/ Science and Technology Innovation of Soft Science Researching Base of Shandong Province/ Scientific Decision Supporting Key Laboratory of Shandong Academy of Science, Jinan 250014, China)

Abstract: Based on the introduction to the typical Japanese rural circular economy model, phosphorus flow in a rural circular economy system is analyzed using the material flow analysis method. Results show that the use of large amounts of compost and direct application of animal manure to the field reduces the effect of wastes from livestock and rural domestic life on water environment, but it did not have any critical effect on the control of phosphorus release from crop fields. On such a basis, it is suggested that in constructing new countryside, it be wise to consider building a circular economy model integrating rural domestic life, cropping and animal rearing and expanding recycling of the wastes from rural domestic life, so as to reduce pollution to the off-system environment.

Key words: rural circular economy; material flow analysis; material metabolism of phosphorus

长期以来,中国农业一直采取粗放式经营模式,肥料和农药等的大量使用以及农村生活污水的无序排放现象依然存在,来自于农业面源污染和农村点源污染的氮磷等污染物的大量排放对农村周围环境造成了巨大影响^[1]。因此,改变现有农村经济发展模式,发展农村循环经济,进行源头治理,从而实现农业可持续发展势在必行。中国近年来一直重视循环经济的发展,目前正在大力开展农村循环经济建设,在一些地区也基本形成了不同类型的循环经济模式,例如辽宁盘锦市西安农场的农牧结合的畜禽养殖模式^[2]等。钱毅^[3]对贵州的织锦模式、北京的留民营模式和河南的天冠模式等作了介绍。曾悦等^[4]研究了畜牧业的磷排放量以及对水环境的影响,并提出构建生态农业模式、避免磷对系统外水体环境影响的措施。刘宾^[5]对河北省农村循环经济发展模式进行研究并提出一些政策建议。胡庚东等^[6]研究了池塘循环经济模式对减轻

营养物质污染环境的作用。张艳娟^[7]对山西省的农村循环经济模式进行了研究。这些研究主要针对中国近年来开展的比较典型的农村循环经济模式进行了剖析,重点总结了各个模式的经济效益以及对农村经济的贡献等问题。但是基于定性的研究较多,定量研究还较少。另外,研究范围也多注重循环产业链本身,多集中于循环经济产业链对经济的贡献研究,而对农村生态环境改善的潜在效果的定量分析还不多。

日本农村的循环经济最早从提倡有机农业开始,北海道的中札内村最早于1971年倡导地域循环系统,发展循环农业^[8],建立了人和家畜的排泄物直接还田和堆肥后还田的农牧一体化循环模式。自日本政府2000年提倡循环型社会建设以来,各地的乡镇更是相继建设并完善了农村循环经济系统,

收稿日期: 2013-06-19

例如京都府八木町、爱知县的半田市和北海道的鹿追町^[9-10]等。在发展农业循环经济的同时,日本开始在城镇建设自来水和污水处理系统,在农村普及集落式和净化槽污水处理系统。根据日本统计数据^[11],2009年日本的污水处理厂和净化槽等的污水处理人口普及率达到91.5%。处理污水时产生的污泥同样被用于堆肥还田,在农牧一体化循环的基础上加入了污水处理和污泥回用环节,延伸了循环链条,大大减少农村点源的污染物排放,改善了农村环境。该模式的改变标志着传统的以有机农业为主的循环系统向农村生活-农业一体化循环系统的演变。近年来,在大力发展清洁能源、减少二氧化碳排放的国际大背景下,农村生物质能源的再利用成为构建农村循环经济系统的新要素。部分学者开始从事将生产有机肥过程中产生的沼气转换为电能和热能的理论和实践研究,其中有学者研究利用牲畜的粪尿发酵产生的沼气进行发电^[12],也有一些公司开展了利用酒糟发酵过程中产生的沼气进行发电的研究^[13],并设计了沼气回收发电系统^[14]。京都府八木町等地相继利用堆肥中心生产有机肥过程中产生的沼气进行发电并用于自身的内部用电,多余的发电量则出售给附近的污水处理厂或电力公司等部门。除了利用沼气发电,一些学者对其他生物质能的再利用进行了研究,包括利用木质生物质能^[15-16]等来发电。2006年青森省田子町提出新能源计划^[17],计划利用农村生活垃圾进行发电,达到生活垃圾减量和新能源生产的双重目的。

该研究选取日本最早发展农业循环经济的北海道中札内村为研究对象,利用物质流分析方法,对其循环经济系统的磷代谢路径和强度等指标进行定量分析,为中国今后发展农村循环经济提供借鉴。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 中札内村概况

中札内村位于日本北海道著名农业和畜牧业生产基地的十胜地区的带广市。1947年从带广市大正村分离出来后,中札内村正式成立,该村自成立以来人口一直维持在4000余人。中札内村农业和畜牧业比较发达,主要农产品有马铃薯、小麦、大豆、小豆、玉米、甜菜和萝卜等,畜牧业产品主要有乳牛、肉用猪、肉鸡和产卵鸡等。

中札内村于1971年开始提倡循环农业和有机农业,1985年耕地的有机肥使用量平均达 $19.2\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,成为日本第1个实现有机农业的乡村。

1.2 研究方法

采用物质流分析方法进行研究。主要根据物质质量守恒定律,对一定时空范围内特定系统物质流动的源、路径及汇进行系统性分析。通过对系统进行详细的分解,达到对各个环节的资源利用效率和物质消耗强度进行定量化评估的目的,并为整个系统的可持续发展决策提供科学依据^[18]。物质流分析大体可以分为整体物质流分析(material flow analysis, MFA)和针对特定元素的物质流分析(substance flow analysis, SFA,也称为元素流分析),主要是针对一些与经济发展、环境污染密切相关的物质进行研究,通过对物质在社会经济以及生态系统内的代谢过程进行分析,提出提高物质投入产出率、减少物质对环境影响的对策建议。

1.3 计算过程

1.3.1 系统边界的界定

农村是一个由种植业、家庭、畜牧业及其所在的自然生态环境组成的复合社会经济生态系统。农村循环经济系统是以循环经济链条为中心的包括人口等其他要素在内的整体系统。由于该研究只考虑农村循环经济系统的物质代谢,在此将系统边界设定为以种植业、畜牧业、人口和废弃物处理等部分组成的框架,系统的进口端为其他区域的肥料、饲料等物质的输入端,出口端为其他区域和包括河流等在内的自然生态系统。农田土壤作为种植业的一部分而归属于系统内,但对其相应的自然流动如大气沉降、地表挥发等则不纳入该文的研究范畴。由此,根据各个环节的磷输入和输出特性,建立磷的物质流结构,其中,系统内的节点包括种植业、畜牧业、人口、堆肥中心和净化槽。

中札内村的整个循环经济系统磷代谢的拓扑结构见图1。根据图1所示,系统内实线表示农产品或畜牧业产品中所含的磷的流动过程,称之为动脉流,虚线表示人口或畜牧业的排泄物中所含的磷的流动过程,称之为静脉流。通过动脉流和静脉流的衔接可以看出,整个农村循环经济系统内包括2个循环:(1)农牧一体化循环,循环路径为畜牧业—堆肥或直接还田—种植业—畜牧业;(2)包括了农村生活环节的循环路径为农村生活—净化槽—堆肥中心—种植业—畜牧业或农村生活—农村生活。

1.3.2 计算方法

首先将磷的物质流通量和存量进行量化,根据物质质量守恒定律,在系统内的每个节点的存量和通量应遵循进出平衡原理,也就是节点流入量和流出量的差为节点的存量。由于每个节点的存量很

难通过调查进行界定,这里将它作为需要求解的因变量。系统的时间跨度设定为1 a,所采用的数据均

为2010年数据,主要来源于资料调研。

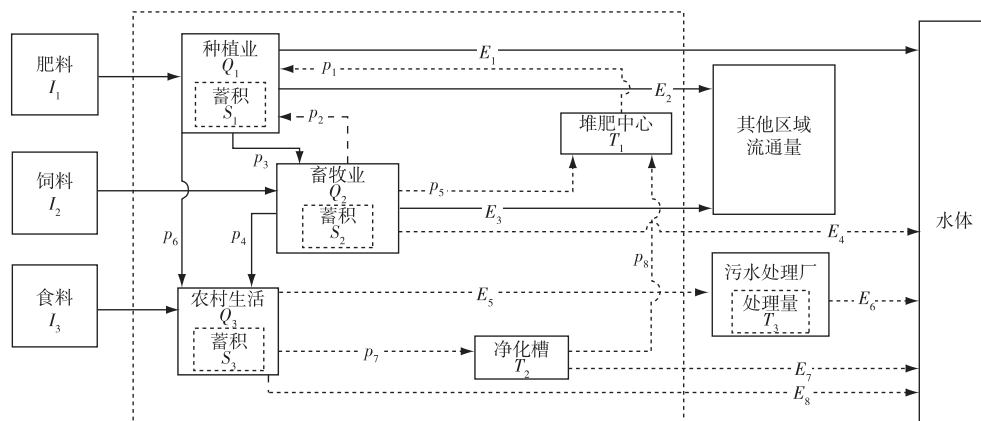


图1 中札内村循环经济系统磷代谢的拓扑结构

Fig. 1 Topological structure of phosphorous metabolism of the rural circular economy system in Nakatsunai Village

系统内共有5个节点,分别为种植业(Q_1)、畜牧业(Q_2)、农村生活(Q_3)、堆肥中心(T_1)和净化槽(T_2)。5个节点的平衡方程分别为

$$I_1 + p_1 + p_2 = S_1 + E_1 + E_2 + p_3 + p_6, \quad (1)$$

$$I_2 + p_3 = S_2 + E_3 + E_4 + p_2 + p_4 + p_5, \quad (2)$$

$$I_3 + p_4 + p_6 = S_3 + E_5 + E_8 + p_7, \quad (3)$$

$$p_8 + p_5 = p_1, \quad (4)$$

$$p_7 = E_7 + p_8. \quad (5)$$

系统外主要有污水处理厂这个节点,其主要是在城镇用于处理由中札内村排出的污水,该节点的平衡方程为

$$E_5 = T_3 + E_6. \quad (6)$$

式(1)~(6)中, p_1 为堆肥中心发酵生产的堆肥质量乘以其磷质量分数得出的由堆肥中心提供给种植业的磷质量; p_2 为畜牧业的未经堆肥而直接还田的排泄物中所含的磷质量,由畜牧业排泄物总质量减去用于堆肥的排泄物质量后乘以其磷质量分数而得到; p_3 为种植业提供给畜牧业的饲料中的磷质量,由畜牧业饲料总消耗量乘以自给率后再乘以饲料的磷质量分数而得到; p_4 为村民消费的包括鸡蛋、肉类等畜牧产品中的磷质量,这里假定中札内村的村民对本村可以生产的畜牧产品均自己消费,只对本村未生产的畜牧产品从外系统购买消费,根据中札内村人口数计算得到; p_5 为畜牧业提供给堆肥中心的排泄物中的磷质量,由堆肥中心总产量减去净化槽的堆肥原料提供量而得到; p_6 为村民消费的包括蔬菜、粮食等农产品中的磷质量,计算方法同 p_4 ; p_7 为农村生活向净化槽输出的磷质量,由净化槽处理人口数乘以人均排泄量再乘以磷质量分

数而得到; p_8 为用于堆肥的净化槽产生的污泥中的磷质量,由污泥产生量和磷质量分数相乘而得到; E_1 为种植业向系统外水体中排放的磷质量,由于土壤自然流失,有一部分磷会从种植业节点流到系统外水体^[19]; E_2 为种植业向系统外输出的农产品中的磷质量,由农产品总产量减去系统内畜牧业和人口的消耗量后乘以磷质量分数而得到; E_3 为畜牧业向系统外输出的畜牧产品中的磷质量,由畜牧产品总产量减去系统内人口消耗量后乘以磷质量分数而得到; E_4 为畜牧业向系统外水体输出的磷质量,由畜牧业排泄物总量乘以非处理率再乘以磷质量分数而得到; E_5 为农村生活向系统外污水处理厂输出的磷质量,由污水处理厂处理人口数乘以人均排泄量再乘以磷质量分数而得到; E_6 为经污水处理厂处理后最终排放到系统外水体中的磷质量,由 E_5 减去污水处理厂处理量而得到; E_7 为经净化槽处理后向系统外水体输送的磷质量,由 p_7 减去 p_8 而得到; E_8 为农村生活直接向系统外水体排放的磷质量,由非处理人口数乘以人均排泄量再乘以磷质量分数而得到; S_1 为种植业存量,也就是当年土壤中磷的蓄积量,由种植业节点输入通量总和减去输出总量而得到; S_2 为畜牧业存量,由畜牧业节点输入通量总和减去输出总量而得到; S_3 为农村生活节点存量,由该节点输入通量总和减去输出总量而得到。上述所有变量单位均为t。

其次,计算系统和各节点的代谢强度。所选取的代谢强度评价指标包括磷输入量、磷循环率、载磷量和水体排磷量等,其含义参见樊银鹏等^[20]的定义(表1)。

表1 代谢强度指标及其含义^[20]

Table 1 Metabolic intensity index and its conception

指标	含义
磷输入量	系统或各节点的磷输入总量
磷循环量	系统或各节点的磷循环再利用总量
磷循环率	磷循环量/磷输入总量
载磷量	用于后续环节的磷输送量
载磷率	载磷量/磷输入总量
水体排磷量	系统或各节点最终排放至地表水体的磷总量
水体排磷率	水体排磷量/磷输入总量

2 计算结果与分析

由图2可知,畜牧业是整个系统内的重要循环枢纽,家畜排泄物的堆肥和直接还田减少了系统对系统外肥料的依赖性,同时减少了家畜排泄物对水体的直接污染。种植业的水体排放量较大,这与所需肥料的量较大有关,家畜排泄物的堆肥和直接还田虽然减少了家畜排泄物对水体的直接污染,但是对于种植业的污染物排放未起到更大的作用。种植业还需通过改善耕作和施肥方式等措施减少种

植业节点磷的输入量,进而减少磷的排放量。农村生活节点的磷产生量和排放量相对较少,这与中札内村人口较少有关,系统内净化槽所产生的污泥也全部进行堆肥资源化利用,今后减少农村生活节点磷排放量的主要手段是增加污水处理人口数。

表2显示了中札内村循环经济系统以及种植业、畜牧业和农村生活等节点的磷循环率、载磷率和水体排磷率。结果表明,畜牧业和农村生活是磷循环的供应主体,而种植业是磷循环的主要受体。这主要是通过畜牧业的排泄物和生活污水处理后产生的污泥的堆肥再资源化,实现了磷的系统内循环,避免了对系统外环境的影响。中国的农业循环经济模式还大多处在畜牧业和种植业之间的循环,农村生活污水的集中处理和产生的污泥的再利用还没有得到普及。现在中国政府也在提倡新农村建设,开始施行农村环境的综合整治措施,将农村生活作为循环链的一个重要节点引入循环模式,可以有效地减轻环境污染。

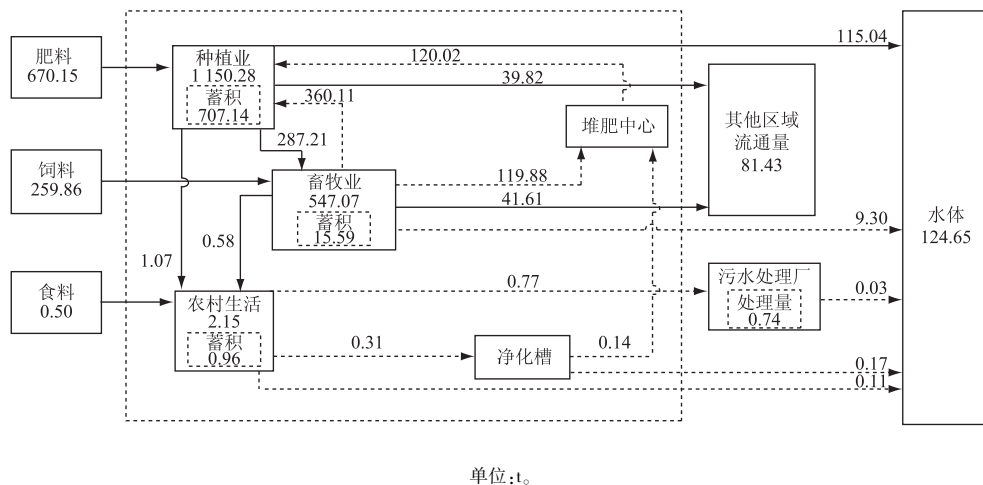


图2 中札内村循环经济系统磷代谢网络图

Fig. 2 Phosphorus flow network of the rural circular economy system in Nakatsunai Village

表2 中札内村循环经济系统磷代谢强度

Table 2 Phosphorus metabolic intensity of the rural circular economy system in Nakatsunai Village

系统或节点	磷输入量/t	磷循环量/t	磷循环率/%	载磷量/t	载磷率/%	水体排磷量/t	水体排磷率/%
系统	930.51	480.13	52	82.20	9	124.65	13
种植业	1150.28	480.13	42	39.82	3	115.04	10
畜牧业	547.07	0	0	162.07	30	9.30	2
农村生活	2.15	0	0	1.08	50	0.11	5

3 结论

运用物质流分析方法构建了农村循环经济系

统的磷代谢模型,并以日本北海道中札内村为例进行了定量分析。结果表明,大量的堆肥和直接还田改善了畜牧业排泄物对水体环境的影响,但是对于

种植业生产引起的磷排放未能起到关键作用。

通过剖析日本中札内村循环经济系统的磷代谢状况,结合我国农村循环经济的发展现状提出以下建议:

(1)在建设新农村的同时,有必要考虑农村生活—种植业—畜牧业一体化循环经济模式,扩大农村生活废弃物的再资源化量,减少对系统外环境的污染。

(2)种植业是造成面源污染的主体,进行施肥过程化控制,加强施肥管理,改变耕作方式,减少种植业节点磷的总输入量是减少种植业对系统外影响的有效手段。

(3)构建农村循环经济,进行废弃物再资源化,减少对环境的影响固然重要,但是废弃物产生的根源正是过多的消费和投入,因此,减少对农村系统内富营养化元素的投入才是减少农村污染的根本途径。

参考文献:

- [1] 袁晓燕,余志敏,施卫明.浙北地区平原河网农村小流域面源污染调查和防治对策:以德清县武康镇新琪村为例[J].生态与农村环境学报,2010,26(3):193-198.
- [2] 纪宝华,祁明相.辽宁盘锦市西安农场生态养殖模式与牲畜粪水的净化[J].农村环境保护,1994(6):285-286.
- [3] 钱毅.农村循环经济发展模式研究[D].贵州:贵州大学,2007.
- [4] 曾悦,洪华生,陈伟琪,等.畜禽养殖区磷流失对水环境的影响及其防治措施[J].农村生态环境,2004,20(3):77-80.
- [5] 刘宾.河北省农村循环经济发展模式与政策导向研究[D].保定:河北农业大学,2006.
- [6] 胡庚东,宋超,陈家长,等.池塘循环水养殖模式的构建及其对氮磷的去除效果[J].生态与农村环境学报,2011,27(3):82-86.
- [7] 张艳娟.山西农村循环经济发展模式研究[D].太原:山西大学,2011.
- [8] 関野幸二.家畜糞尿スラリーの利用に関する一考察:中札内村を事例として[R].農業経営研究,1978:44-70.
- [9] 横浜伸也.バイオエネルギー最前線[M].東京:森北出版株式会社,2001.
- [10] 荒巻俊也,鈴木英司,花木啓祐.有機性廃棄物の有効利用に向けたコンポスト製品の需要供給バランスの解析:愛知県を対象として[J].環境科学会誌,2001,14(4):367-371.
- [11] 環境省.環境統計集[R/OL].(2012)[2013-06-19].http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/index.html.
- [12] 松田従三.家畜ふん尿のエネルギー利用とその課題:メタン発酵によるエネルギー利用[J].農業機械学会誌,2004,66(1):8-11.
- [13] 河野孝志.焼酎粕の水素メタン発酵によるエネルギー利用[J].環境技術,2009,38(12):862-865.
- [14] 河野孝志.水素メタン発酵による焼酎粕処理・エネルギー回収システムの開発[J].環境システム計測制御学会誌,2010,15(2):153-156.
- [15] 中村良平,柴田浩喜.木質バイオマスの地域循環による経済活性化効果:岡山県真庭市のバイオマスエネルギー利用[J].岡山大学経済学会雑誌,2013,45(1):19-31.
- [16] 小池浩一郎,大津裕貴.木質バイオマスの特質とそれを活かすエネルギー利用方策[J].林業経済,2012,65(7):1-13.
- [17] 青森県田子町.田子町地域新エネルギービジョン報告書[R/OL].(2006)[2013-06-19].http://www.town.takko.aomori.jp/000000ke0ya3007.htm.
- [18] BRUNNER P H, RECHBERGER H. Practical Handbook of Material Flow Analysis[M]. Boca Raton, USA: Lewis Publishers, 2004: 1318.
- [19] 国立環境研究所.環境低負荷・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究[R].国立環境研究所特別研究報告,2002:30.
- [20] 樊银鹏,胡山鹰,陈定江,等.中国磷元素代谢模式的演化与分析[J].清华大学学报:自然科学版,2010,48(6):1027-1030.

作者简介:石峰(1972—),男,河南平顶山人,研究员,博士,主要从事环境系统学和产业生态学研究。E-mail: shifeng1224cn@126.com