

引用格式: 严丽, 刘晶茹. 基于物质流分析的中国城镇家庭代谢核算[J]. 资源科学, 2017, 39(9): 1682–1690. [Yan L., Liu J R. Chinese urban household metabolism accounting based on material flow analysis[J]. *Resources Science*, 2017, 39(9): 1682–1690.] DOI: 10.18402/resci.2017.09.07

基于物质流分析的中国城镇家庭代谢核算

严 丽^{1,2}, 刘晶茹¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:随着可持续消费理论的深入研究, 城镇家庭作为终端消费部门, 成为可持续消费的主要研究对象, 因此针对城镇家庭开展“细胞尺度”的环境影响评价非常重要且必要。本文基于物质流分析方法, 建立了中国城镇家庭物质流核算框架, 为物质流分析在家庭层面的研究提供了新思路。以2015年平均一个城镇家庭为研究对象, 计算了城镇家庭的平均物质资源交换情况。结果显示: 2015年平均一个城镇家庭的直接物质投入为86 420.92kg, 物质输出量为83 457.98kg, 物质存量净增加为2 374.08kg; 从消费类别上看, 居住、食品和交通是主要的物质投入来源。针对中国城镇家庭消费的现状, 本文提出对应政策建议, 倡导居民改变不可持续的消费理念, 向可持续的家庭消费模式转变。

关键词: 家庭代谢; 物质流分析; 可持续消费; 城市代谢

DOI: 10.18402/resci.2017.09.07

1 引言

1987年, 世界环境与发展大会发布了影响全球的《我们共同的未来》报告^[1], 率先提出了“可持续发展”的概念, 并对其定义进行了科学的描述: “能够满足当代的需要又不危及下一代满足其需要的能力的发展”。1992年, 联合国世界环境与发展大会在巴西里约热内卢召开, 会议通过了以可持续发展理念为核心的《21世纪议程》^[2], 这标志着可持续发展观念被世人接受, 并且将可持续消费与生产(Sustainable Consumption and Production, SCP)定位为实现可持续发展的根本途径^[3]。2002年, 约翰内斯堡可持续发展首脑会议制定了“约翰内斯堡执行计划”, 各国领导人采取全球10年框架计划(10YFP), 通过加强国际合作来支持所有发达或发展中国家的可持续生产消费行动^[4]。2012年, 联合国可持续发展大会(里约+20峰会)重申, 促进消费和生产的可持续模式是可持续发展三大主要目标之一, 峰会

上各国首脑承诺加快向可持续消费和生产模式转变, 通过了又一个可持续消费和生产10年方案框架(10YFP)^[5]。

目前, 可持续消费核心理念已基本形成。联合国环境规划署在“可持续消费和生产的政策展望”中提到, 生命周期评价方法是实现可持续消费和生产的重要方法。另外, 消费的选择(the choice of consumer)作用亦不容忽视, 推进可持续的消费和生产方式离不开政府的指导、公众的参与和科学的评价。

家庭作为终端消费部门, 是社会消费的基本单元, 社会消费中80%的消费行为是由家庭控制和实施的^[6]。因此, 以家庭为基本单位分析, 比以“个体消费者”作为基本分析单位, 能提供更丰富的信息和全新的分析视角^[7]。目前以能源消费和温室气体排放为切入点来分析家庭消费活动环境影响的研究非常多, 但是很少有学者从物质资源消耗角度来

收稿日期: 2017-02-10; 修订日期: 2017-07-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71533004)。

作者简介: 严丽, 女, 湖北襄阳人, 硕士, 主要研究方向为产业与城市生态学。E-mail: yanlixn@163.com

通讯作者: 刘晶茹, E-mail: liujingru@rcees.ac.cn

2017年9月

对家庭消费进行评价。

国外相关研究不多,1998年Noorman等首先以能源消费为重点,分析了荷兰家庭直接能源消费及间接能源消费的变化,结果表明生产和消费系统的能源效率提高对家庭物质消费增加起到一定的减缓作用^[8]。Harder等核算了不同家庭间资源利用和废弃物产生的差异,利用智能手机通过购物清单和废物成分分析,核算两个不同规模家庭的物质交换^[9]。Donato等从家庭消费的物质和能源及其排放的角度进行综述,强调家庭在温室效应和气候变化方面的重要作用,而对其它排放和废弃物的研究略少。而从消费角度分析,居住、食品和交通是最重要的消费类别^[10]。

国内在家庭代谢方面的研究同样较少^[11]。刘晶茹等从社会经济代谢的角度,对中国城镇家庭的水、能源和物质的消费过程进行分析,表明中国城市家庭的代谢量在短中期时间内继续保持增加趋势^[12];陈依岚等以同济新村为研究案例,分析其家庭代谢,发现居民家庭消费模式总体较为合理,其中水资源消耗量较大^[13]。另有对家庭消费过程中的特定消费活动进行代谢分析,如刘晶茹等对家庭生活用电行为的生态影响核算^[14],对不同家庭住宅类型的环境影响比较^[15],罗婷文等对北京市食品碳消费的研究^[16]。

对于家庭代谢研究,主要有社会经济代谢方法和物质流分析方法(Material Flow Analysis, MFA)两种。前者根据“黑箱”理论将家庭视为黑箱,将研究重点放在系统的输入和输出上,而忽视了家庭内部物质能量转换过程及存量的研究,现有大多数研究皆基于此方法;后者则依据欧盟MFA框架进行核算,注重物质平衡,核算框架清晰,但缺点是水和氧气占比过高,致真正反映家庭消费行为的材料和资源信息被忽视。因此,本文拟采用物质流分析方法,对一年内进入和输出家庭范围内的物质代谢进行核算,并将家庭物质材料代谢过程和水代谢过程区分开来,从而准确辨识城镇家庭消费中关键的消费行为以及资源密集型产品,打开家庭消费内部“黑箱”。

2 研究方法及核算框架

2.1 确定研究边界

以城镇家庭为研究对象,对城镇人口的定义来

自《中国统计年鉴(2016)》^[17],即居住在城镇范围内的全部常住人口,2015年城镇家庭户均规模为2.90人/户。对于城镇家庭层面的物质流分析,家庭消费有三个尺度范围:

(1)发生在家庭内部的“实物型消费”,即通过支出买入并且在家庭内部消费的,如购买的食物、耐用品、形成建筑的材料、建筑维护过程中的能源消耗等。

(2)发生在家庭外但与家庭支出相关的家庭消费的产品及服务,包括公共交通、在外就餐、娱乐教育、医疗消费等。

(3)在范围(1)和范围(2)外,家庭所消费的产品及所享受的服务,包括为城镇居民生活提供服务的基础设施。

本文的研究边界为范围(1),即核算家庭购买的80种实物型商品。时间边界以一个自然年为限,探索平均一个城镇家庭在2015年一年的时间内,为满足家庭生活需求,与自然经济系统的物质交换情况,其中包括物质输入、储存和输出过程。

2.2 数据来源

本文所需的基础消费数据主要来自统计年鉴和已公开发表的文献、行业报告,具体有《中国统计年鉴(2016)》^[17]、《废弃电器电子产品处理目录》^[18]、《中国城市统计年鉴(2015)》^[19]、《中国能源统计年鉴(2016)》^[20]。

2.3 核算范围内的商品和用水用能指标

城镇家庭作为终端消费部门,本文核算的是满足家庭“吃穿住行用”功能所消费的商品,以及从家庭排放到外界的物质。根据欧盟导则给出的物质流核算分类体系,结合家庭消费过程物质流动的具体特征和实际数据的可获得性,本文主要分析食品、衣着、居住、家庭设备及用品、交通通信、文教娱乐、其他等7类72种商品,以及家庭用水和7种生活用能源,19项消费指标(在表1中将家庭用水和7种能源分配至各消费类别)。对于具体核算的商品与指标如下:

(1)食品。本文核算11种食品,包括粮食、鲜菜、植物油、猪肉、牛羊肉、禽类、鲜蛋、水产品、鲜奶、鲜瓜果和酒。

(2)衣着。包括6种产品,毛毯、服装、呢大衣、

毛皮大衣、毛料服装、皮鞋。

(3)居住。包括住宅建筑用料,具体有钢材、水泥、砖、木材、石子、砂子、卫生陶瓷、建筑陶瓷、玻璃、铝材、EPS和岩棉,以及6种主要家具(组合家具、沙发床、大衣柜、写字台、沙发、地毯)。核算时考虑到新建住宅的空置率为22.4%^[21]。

(4)家庭设备及用品。本文考虑了36种常用家庭设备。

(5)交通通信。主要包括4种家庭常用交通工具,家用汽车、摩托车、电动助力车、自行车。

(6)文教娱乐。主要考虑2种产品,图书和健身器材。

(7)其他。包括6种产品,表、缝纫机、电子温度计、玻璃制品、卫生用纸和洗涤用品。

(8)家庭用水。本文中家庭用水不包括公共服务用水。

(9)家庭用能。包括煤炭、煤气、天然气、液化石油气、汽油、柴油和电力。

对于食品、水、能源等短寿命商品(short-living goods),年购买量基本等于在家庭生活中消费的量^[22],在一年的时间边界内,不考虑人体摄食而储存在身体的部分(较小,可忽略不计)^[23],因此可假设食品消费量等于输出量,水和能源同样在一年的时间内全部消耗,在家庭中没有储存;对于其它耐用品(durable goods),假设使用寿命稳定,产品一旦达到其使用寿命立即报废,从而根据存量计算其输入量、输出量。其中耐用品的消费数据需要多年份的历史数据,数据来自相应年份的统计此处不再赘述,从而可以推算出2015年的购买量和废弃量。

本文核算的商品消费数据如表1所示。

2.4 物质分类

采用欧盟导则对于物质流分析中的物质分类规定,从输入、输出和储存三个过程进行物质流划分,归纳总结为:

2.4.1 物质投入分类

(1)化石燃料:本文涉及到的化石燃料包括煤炭、煤气、天然气、液化石油气、汽油、柴油。对于气体性能源,根据密度转化成重量单位;对于电力,根据文献调研^[24],混合电力的物质投入为0.38kg/kWh。

(2)生物质:主要来自11种食品,衣着中的纺织品,建筑材料和家具中的木材,家庭设备及用品和图书中的纸。

(3)矿物质:主要包括家庭设备及用品和交通工具中的钢材、铜、铝、铁、铅、锂等金属矿物和塑料、玻璃、胶、其他等非金属矿物,鞋子中的溶剂、EVA,建筑材料中的钢材、水泥、砖、石子、砂子、卫生陶瓷、建筑陶瓷、玻璃、铝材、EPS和岩棉。

(4)水:家庭用水。

(5)氧气:仅考虑化石燃料燃烧消耗的氧气。

2.4.2 物质输出分类

污染物排放物:废气、废水和固体废弃物。废气主要是化石燃料燃烧产生的废气。废水主要指生活污水。固体废弃物包括生活垃圾、电子废弃物、建筑垃圾、报废产品等。

2.4.3 物质储存分类

存量净增加。本文涉及到的物质储存则主要是住宅建筑及家庭耐用品,主要包括家庭设备及用品、交通工具,在数值上等于当年的物质输入量减去输出量。

2.5 核算模型

图1(见第1686页)是城镇家庭物质流过程的概念模型,反映了城镇家庭消费中水、商品和能源的输入过程,废气、废水和固体废弃物的排放过程,以及家庭系统内的物质存量增加过程,主要是住宅建筑和耐用品在家庭内的积累过程。这一模型反映了家庭消费过程与社会-经济-环境系统的物质路交换过程,各种资源流向家庭,经过家庭内部消耗,一部分作为废弃物排放到外界,另一部分转化为家庭内部存量和提供人体所需的能量。

根据2015年平均一个城镇家庭的产品消费量和材料数据,可以推算出城镇家庭物质投入量、输出量、存量和存量增加量。计算公式如下:

$$M_n = \sum_{i=1}^{80} C_i \times (m_{ni1} + m_{ni2} + \cdots + m_{nij}) \quad (1)$$

式中 M_n 为第 n 种物质类别,如生物质、矿物质、废水等; C_i 为第 i 种产品(或服务)的户均用量(输入量、输出量、拥有量); m_{nij} 为每一件 i 产品在第 n 类物质类别下第 j 种物质材料的含量。

对于家庭代谢的总物质流动而言,输入量、输

2017年9月

表 1 2015 年城镇家庭消费品户均消费量

Table 1 The consumption of an average urban household goods in 2015

	产品	输入	输出	存量		产品	输入	输出	存量
食品	粮食/kg	326.54	326.54	0.00	家庭设备 及用品	豆浆机/台	0.21	0.07	0.71
	鲜菜/kg	290.58	290.58	0.00		洗碗机/台	0.00	0.00	0.01
	植物油/kg	32.19	32.19	0.00		消毒碗柜/台	0.02	0.02	0.20
	猪肉/kg	60.03	60.03	0.00		洗衣机/台	0.10	0.09	1.00
	牛羊肉/kg	11.31	11.31	0.00		电热水器/台	0.07	0.06	0.50
	禽类/kg	27.26	27.26	0.00		吸尘器/台	0.01	0.01	0.17
	鲜蛋/kg	42.63	42.63	0.00		太阳能热水器/台	0.03	0.02	0.20
	水产品/kg	30.45	30.45	0.00		剃须刀/台	0.08	0.07	0.29
	鲜奶/kg	49.59	49.59	0.00		电吹风机/台	0.04	0.04	0.19
	鲜瓜果/kg	159.79	159.79	0.00		洗澡用水/kg	14 837.70	14 837.70	0.00
	酒/kg	19.90	19.90	0.00		家用电器用电/kWh	810.32	-	-
	炊事用水/kg	19 855.60	19 855.60	0.00		取暖器/台	0.06	0.04	0.57
	煤/kg	7.38	7.38	0.00		冷暖风机/台	0.01	0.01	0.09
	煤气/kg	9.12	9.12	0.00		燃气热水器/台	0.04	0.03	0.30
	天然气/kg	99.34	99.34	0.00		手机/台	1.33	1.22	2.45
	液化石油气/kg	70.49	70.49	0.00		固定电话/台	0.99	1.05	0.49
	电/kWh	328.47	328.47	0.00		电脑/台	0.34	0.27	1.09
	氧气/kg	412.09	412.09	0.00		服务器/台	0.00	0.00	0.02
衣着	毛毯/件	0.35	0.34	1.61		计算器/台	0.00	0.05	0.04
	服装/件	29.11	26.30	84.51		彩色电视机/台	0.17	0.17	1.35
	呢大衣/件	0.04	0.11	0.78		摄影机/台	0.02	0.01	0.12
	毛皮大衣/件	0.17	0.15	0.93		组合音响/套	0.01	0.02	0.18
	毛料服装/件	0.59	0.65	2.14		录音机/台	0.02	0.06	0.03
	鞋子/双	9.34	8.90	18.47		录像相机/台	0.00	0.01	0.06
居住	住宅面积/m ²	3.46	1.90	100.09	交通通信	影碟机/台	0.08	0.05	0.97
	组合家具/套	0.12	0.10	0.96		照相机/架	0.04	0.03	0.51
	沙发床/台	0.15	0.11	1.07		电子乐器/台	0.00	0.00	0.01
	大衣柜/台	0.08	0.07	0.88		游戏机/台	0.04	0.03	0.40
	写字台/张	0.17	0.17	0.82		电压力锅/台	0.08	0.04	0.30
	沙发/台	0.01	0.04	1.69		洗衣用水/kg	24 281.10	24 281.10	0.00
	地毯/m ²	0.26	0.25	1.50		家用汽车/辆	0.05	0.00	0.30
	卫生用水/kg	19 583.90	19 583.90	0.00		摩托车/辆	0.02	0.00	0.27
	取暖用煤/kg	29.54	29.54	0.00		汽油/kg	61.28	61.28	0.00
	取暖用电/kWh	55.78	-	-		柴油/kg	18.34	18.34	0.00
	制冷用电/kWh	220.01	-	-		自行车/辆	0.18	0.18	1.18
	照明用电/kWh	134.80	-	-		电动助力车/辆	0.09	0.06	0.46
	氧气/kg	53.28	53.28	0.00		氧气/kg	88.35	88.35	0.00
家庭设备 及用品	电冰箱/台	0.14	0.13	1.02	文教娱乐 服务其它	图书/本	13.28	12.62	57.47
	空调器/台	0.21	0.14	1.47		表/只	0.54	0.54	2.71
	电风扇/台	0.31	0.32	1.66		缝纫机/台	0.00	0.00	0.24
	排油烟机/台	0.09	0.08	0.69		电子体温计/支	0.02	0.01	0.09
	电饭锅/台	0.33	0.28	1.57		健身器材/台	0.03	0.03	0.05
	电炊具/台	0.28	0.24	1.51		玻璃制品/kg	34.40	33.50	34.40
	电水壶/台	0.08	0.04	0.31		卫生用纸/kg	14.36	14.36	0.00
	饮水机/台	0.12	0.09	0.75		洗涤用品/kg	28.47	28.47	0.00
	微波炉/台	0.24	0.22	0.67					

注:1)表中空白处表示电力在家庭系统中只有输入,没有输出且没有存量。2)表中“0.00”表示该商品或服务在2015年内家庭没有购买,或没有输出,或没有存量。

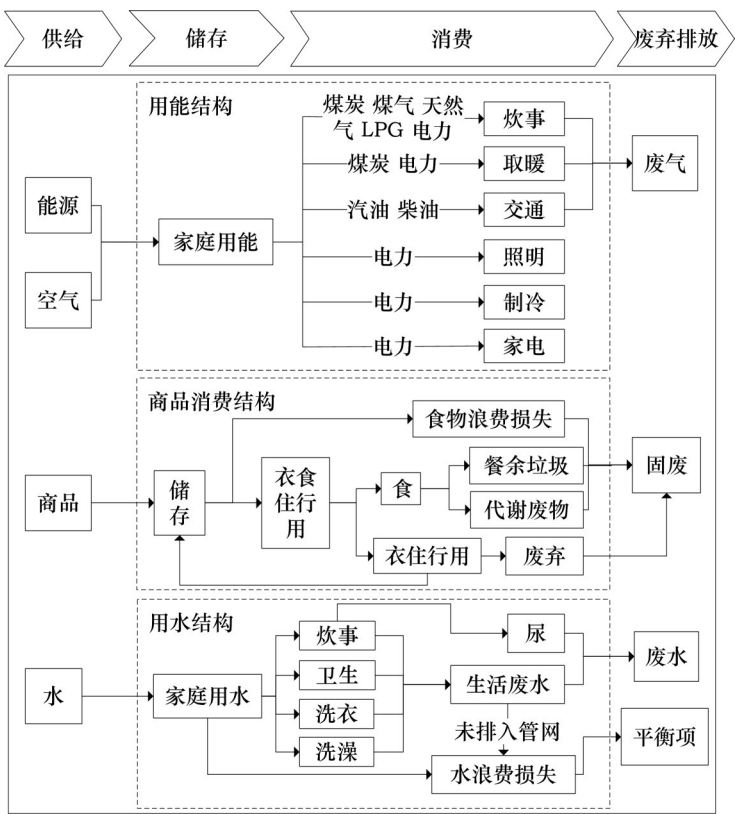


图1 城镇家庭物质流模型

Figure 1 The model of urban household material flow

出量和存量净增加量则是对应物质量在各物质类别下的总和,模型如下:

$$M = \sum_{n=1}^6 M_n \tag{2}$$

2.6 评价指标体系

根据城镇家庭物质流核算的系统边界、核算范围、物质分类及核算模型,可以确立家庭层面物质流分析的指标体系(表2)。

3 结果及分析

从整体上来说,2015年中国城镇家庭户均物质输入量为86 420.92kg,物质输出量为83 457.98 kg,存量增加量为2374.08kg(表3)。从物质输入结构来看,其中水资源投入占近91%,其它商品仅为9%,而这9%正是家庭物质代谢研究的重点,也是辨识家庭直接物质消费的流量、存量的演变特征的重要根据。本文使用Sankey 4.2软件,来绘制2015年中国城镇家庭物质流账户平衡示意图2,水资源在家庭代谢过程中的交换情况另作分析(图3,见1688页)。

表2 城镇家庭物质流分析物质分类

Table 2 The indicators of urban household material flow accounting		
物质分类	指标	核算内容
物质输入	总计	家庭购买的商品和新建建筑
	生物质	食品,家具类,耐用品中的纸、木材
	矿物质	耐用品、建筑中的矿物材料
	燃料	生活能源
	氧气	生活能源燃烧需要的氧气投入
	水	家庭用水
	电力	家庭用电(折算成质量)
物质输出	总计	家庭排放到环境中的废弃物、排放物
	固体废物	生活垃圾、废弃物、建筑垃圾
	废水	生活废水
	废气	生活能源燃烧产生的废气
	平衡项	未排入管网的污水,及浪费损失的水
	存量净增加	家庭物质存量的增加量
存量	总计	家具类
	生物质	耐用品、建筑
	矿物质	主要为耐用品和住宅建筑
	生物质	家具类
	矿物质	耐用品、建筑

2017年9月

表3 2015年中国城镇家庭户均物质流账户体系

Table 3 Material flow accounting system of urban household in 2015 (kg/户)										
	总计	物质类别	小计	食品	衣着	居住	家庭设备及用品	交通通信	文教娱乐	其它
输入量	86 420.92	生物质	1 162.13	1 050.27	40.02	52.43	0.03	1.59	3.32	14.46
		矿物质	5 262.50	0.00	2.30	5 087.50	51.28	58.32	0.12	62.98
		化石燃料	295.51	186.34	0.00	29.54	0.00	79.63	0.00	0.00
		电力	588.76	124.82	0.00	156.02	307.92	0.00	0.00	0.00
		水	78 558.30	19 855.60	0.00	19 583.90	39 118.80	0.00	0.00	0.00
		氧气	553.72	412.09	0.00	53.28	0.00	88.35	0.00	0.00
		小计	86 420.92	21 629.12	42.32	24 962.67	39 478.03	227.89	3.44	77.44
输出量	83 457.98	废水	64 431.70	17 851.20	0.00	15 539.80	31 040.70	0.00	0.00	0.00
		平衡项	14 126.60	2 004.40	0.00	4 044.10	8 078.10	0.00	0.00	0.00
		生活垃圾	1 239.25	1 050.27	39.12	21.86	43.43	4.76	3.27	76.54
		建筑垃圾	2 811.20	0.00	0.00	2 811.20	0.00	0.00	0.00	0.00
		废气	849.23	598.43	0.00	82.82	0.00	167.98	0.00	0.00
		小计	83 457.98	21 504.30	39.12	22 499.78	39 162.23	172.74	3.27	76.54
存量净增加	2 374.08	生物质	19.38	0.00	3.09	14.77	0.01	1.35	0.17	0.00
		矿物质	2 354.69	0.00	0.11	2 292.00	7.88	53.81	0.00	0.90
		小计	2 374.08	0.00	3.20	2 306.77	7.88	55.15	0.17	0.90
存量	149 162.75	生物质	1 226.95	0.00	112.25	1 089.06	0.16	10.57	14.37	0.54
		矿物质	147 935.80	0.00	4.54	147 167.70	332.42	388.05	0.18	42.90
		小计	149 162.75	0.00	116.80	148 256.76	332.58	398.62	14.55	43.44

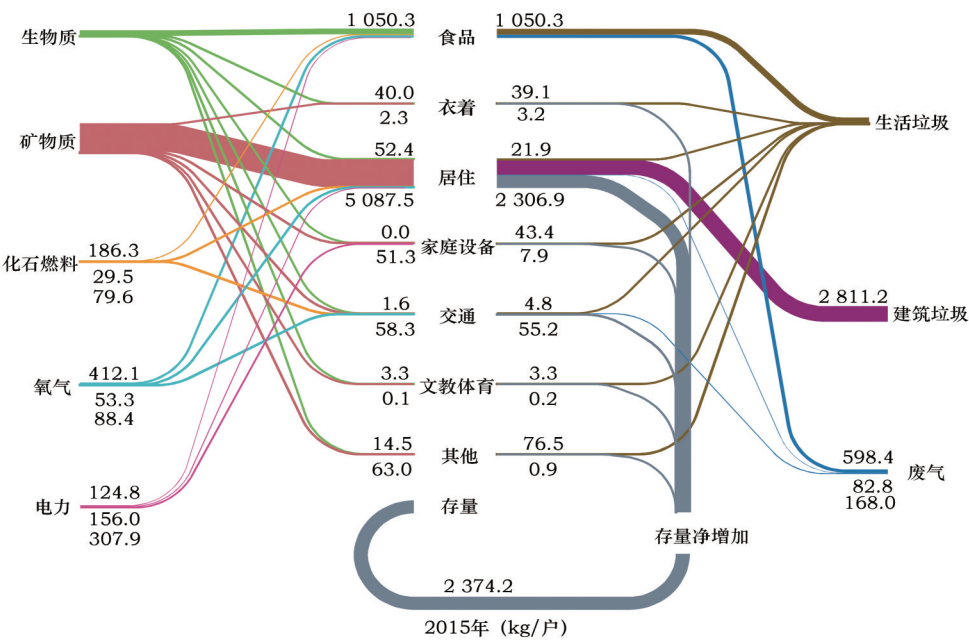


图2 2015年中国城镇家庭物质代谢平衡

Figure 2 Material metabolism and balance of an average urban household in 2015

注:图中数据表明城镇家庭的户均物质代谢过程,包括各种物质材料在各种消费类别中的输入和输出及储存情况。

从物质类别上来看,矿物质投入量最多,为5262.50kg/户,主要来自家庭新建建筑的建材投入和耐用品购买;其次为生物质为1162.13kg/户,主要

来自食品、衣着中的纺织品和居住中家具的木材投入;生活用能中炊事最耗能,并且其能源使用种类最为丰富,煤炭、天然气、液化石油气和煤气,约占

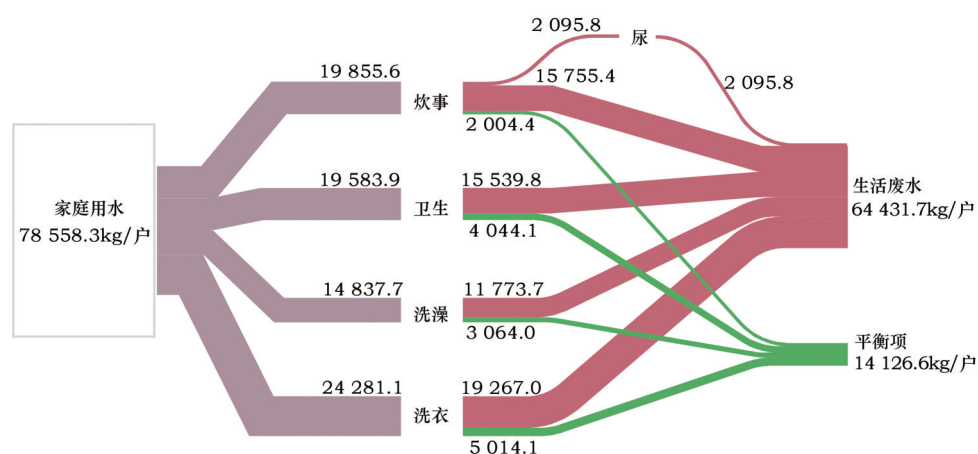


图3 2015年中国城镇家庭水代谢过程

Figure 3 Water metabolism of an average urban household in 2015

生活用能总量的63%,其次为交通和居住,其中交通主要消耗汽油和柴油,居住中使用煤炭用以取暖;而电力,户均消费量为1549.37kWh,主要用于家庭设备用品、居住和炊事方面,其中家庭设备及用品是最为耗电的消费类别,主要原因在于目前城镇家庭中家用电器功能多样化,种类齐全,拥有量也在逐年增长。

从各消费类别上看,居住、食品和交通通信是主要的物质消耗来源,其中居住主要来自建筑材料。对于城镇家庭来说,随着人均住宅面积增加,住宅建筑存量不断增加,也表现为户均建筑材料投入量的增加。其次在食品购买方面,中国城镇家庭的食品消费正在从数量提高向质量提升所转变,饮食更注重营养和养生,但总体来说,户均食品消费量仍在1150kg左右。对于交通通信,私家车从20世纪90年代进入城镇家庭,近年来快速发展,交通通信增长潜力巨大,成为家庭消费中的主要贡献者之一。总体来说,服务型产品在家庭消费品中的比例慢慢提高。

2015年城镇家庭户均用水量为78 558.3kg(见图3),其中洗衣用水占比最大,约为29.5%,其次为炊事和卫生用水。根据文献调研,城镇家庭耗水系数约在0.224~0.250之间^[25,26],随着社会发展,折算出2015年城镇家庭耗水系数为0.209,即家庭用水的79.1%会通过生活废水的形式排放到环境中,大约为64 432kg/户。另外,城镇生活污水管网

建设尚未完善,加之家庭用水存在浪费、损失,本文将将其归为平衡项,约为14 127kg/户。

4 结论与建议

4.1 结论

本文通过建立城镇家庭物质流分析模型,结合家庭消费数据和已发表的行业报告、文献等,建立了城镇家庭物质流核算框架,并对中国城镇居民家庭户均的物质流进行核算评价。主要结论如下:

(1)从消费类别来看,居住、食品和交通通信是城镇家庭物质资源消耗的主要来源。2015年中国城镇家庭直接物质输入量为86 420.92kg/户(包括水),输出量为83 847.98kg/户。如果扣除家庭用水,城镇家庭直接物质投入量为7862.62kg/户,输出量为4899.68kg/户。城镇家庭物质存量增加量为2374.08kg/户,其中住宅面积增加是家庭物质存量增加的主要原因。

(2)2015年城镇家庭生活用水量为78 558.3kg/户,主要用于洗衣、炊事、卫生和洗澡,其中64 432kg经过家庭消费代谢作为生活废水排出。城镇家庭生活用能为295.51kg/户,产生废气849.23kg,用电量为1549.37kWh/户,折算成质量为588.76kg,且不产生排放。

4.2 政策建议

家庭作为终端消费的基本单元,消费的商品服务及能源会对自然生态系统产生资源消耗和环境压力。因此,要实现可持续消费,提出以下建议:

2017年9月

(1)消费减量化,即减少物质资源的投入,尤其是比例最高的水资源,可以通过节水措施和节水器具有效利用;其次为建筑材料,通过绿色建材、产品生态设计来减少投入量,同时增加可回收利用率并延长其寿命。

(2)鼓励共享经济,为满足同样需求,用服务替代产品,如交通增长潜力非常大,汽车共享是一种可以实现资源优化配置的消费模式。

(3)大力推进绿色产品设计与技术,通过绿色产品设计减少单位产品的环境影响和资源负荷,同时通过技术革新减少生产过程中的资源浪费损失,如家用电器设备电力消耗占比较高,可以通过绿色设计减少能源消耗。

(4)加强城市绿色基础设施建设,加快管网建设,完善市政设施,建设绿色化、生态化、可持续发展的基础设施,这些措施的最终目的是减少家庭消费品全生命周期过程的物质投入量,转变当前不可持续的消费理念,引导居民向可持续消费模式转变。

参考文献(References):

- [1] World Commission on Environment and Development. Our Common Future[M]. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [2] United Nations. Agenda 21: Earth Summit: The United Nations Programme for Action from Rio[M]. New York: United Nations Press Release, 1993.
- [3] Taylhardat A R, Zilinskas R A. Agenda 21: Biotechnology at the United Nations conference on environment and development[J]. *Biotechnology*, 1992, 10(4): 402-404.
- [4] United Nations Department of Economic and Social Affairs. Johannesburg Plan of Implementation[R]. Johannesburg: UNDESA, 2002.
- [5] United Nations Environment Program. Global Outlook on Sustainable Consumption and Production Policies: Taking Action Together[R]. Nairobi: UNEP, 2012.
- [6] 符国群. 消费者行为学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. [Fu G Q. The Consumer Behaviors[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.]
- [7] 符国群. 中国城镇家庭消费报告2014[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014. [Fu G Q. Consumption Reports of Chinese Urban Household 2014[M]. Beijing: Peking University Press, 2014.]
- [8] Noorman K J, Uiterkamp T S. Green Households: Domestic

Consumers, the Environment and Sustainability[M]. New York: Routledge, 1998.

- [9] Harder R, Kalmykova Y, Morrison G M, et al. Quantification of goods purchases and waste generation at the level of individual households[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2014, 18(2): 227-241.
- [10] Di Donato M, Lomas P L, Carpintero O. Metabolism and environmental impacts of household consumption: a review on the assessment, methodology, and drivers[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2015, 19(5): 904-916.
- [11] 沈丽娜, 马俊杰. 国内外城市物质代谢研究进展[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 1941-1952. [Shen L N, Ma J J. Progress on metabolism of cities[J]. *Resources Science*, 2015, 37(10): 1941-1952.]
- [12] 刘晶茹, 王如松, 王震, 等. 中国城市家庭代谢及其影响因素分析[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2672-2676. [Liu J R, Wang R S, Wang Z, et al. Metabolism and driving forces analysis of Chinese urban households[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2672-2676.]
- [13] 陈依岚, 包存宽. 基于代谢分析的可持续家庭消费模式研究[C]. 上海: 同济大学出版社, 2005. [Chen Y L, Bao C K. Sustainable Household Consumption Patterns Research Based on Metabolism Analysis[C]. Shanghai: Tongji University Press, 2005.]
- [14] 刘晶茹, 王如松. 中国家庭消费的生态影响-以家庭生活用电为例[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(3): 40-42. [Liu J R, Wang R S. Ecological impacts of Chinese household consumption- case study on household electricity consumption[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2002, 15(3): 40-42.]
- [15] 刘晶茹, 王如松, 杨建新. 两种家庭住宅类型的环境影响比较[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(2): 34-35. [Liu J R, Wang R S, Yang J X. Environmental impact of two types of residential building[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, 16(2): 34-35.]
- [16] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 等. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3252-3258. [Luo T W, Ouyang Z Y, Wang X K, et al. Dynamics of urban food-carbon consumption in Beijing households[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3252-3258.]
- [17] 中华人民共和国国家统计局. 2016中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. 2016 China Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [18] 国家发展和改革委员会. 废弃电器电子产品处理目录(2013)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2015. [National Development and Reform Commission. Waste Electrical and Electronic Pro-

- ducts Recycling Directory (2013) [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2015]
- [19] 国家统计局城市社会经济调查司. 2015中国城市建设统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. 2015 China Urban Construction Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [20] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook 2016[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [21] 甘犁, 尹志超, 贾男, 等. 中国家庭资产状况及住房需求分析 [J]. 金融研究, 2013, (4): 1-14. [Gan L, Yin Z C, Jia N, et al. The analysis of Chinese household assets and housing demand [J]. *Journal of Financial Research*, 2013, (4): 1-14.]
- [22] 刘晶茹. 中国城市家庭消费行为的生态影响评价及调控方法研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2006. [Liu J R. Ecological Assessment and Regulation of the Chinese Urban Household Consumption Behaviors[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2016.]
- [23] Loïc Leray, Marlyne Sahakian, Suren Erkman. Understanding household food metabolism: relating micro-level material flow analysis to consumption practices[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016(125):44-55.
- [24] 丁宁. 中国能源系统生命周期评价与优化方法研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2016. [Ding N. Life Cycle Assessment and Optimization of Energy System in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2016.]
- [25] 曹东. 经济与环境: 中国2020 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. [Cao D. Economy and Environment: China 2020[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.]
- [26] 张军, 夏训峰, 贾春蓉, 等. 中国城镇生活废水排放量影响因素及情景分析 [J]. 资源开发与市场, 2009, 25 (5): 397-399. [Zhang J, Xia J F, Jia C R, et al. Analysis of scenario and factors on China's urban wastewater emission[J]. *Resource Development and Market*, 2009, 25(5): 397-399.]

Chinese urban household metabolism accounting based on material flow analysis

YAN Li^{1,2}, LIU Jingru¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: As research into sustainable consumption theory advances, urban households as the final consumption sector have become the main research focus in sustainable development. It is important and necessary to carry out ‘cell-scale’ environmental impact assessments at the urban household level. Based on Material Flow Accounting, we built an accounting framework for urban household material flow to provide a new focus for household-scale material flow analysis. We selected an average urban household as the system boundary, 72 products and water and energy for household use as the research scope. We then measured input, output and stock of resource use of an average urban household in 2015. The concept of an average urban household originates from the China Statistic Yearbook 2016, and there are 2.90 persons per household. Results show that the direct material input (DMI) of an average urban household in 2015 was 86 420kg, and the material output was 83 457kg, thereby the net addition to stock (NAS) was 2374kg per household. As for material categories, water input accounted for the largest proportion, whereas the other 9% was important in total material input structure and deserved more attention and exploration. Mineral input fell into the second group, due to an increase in new residential buildings and purchase of durable goods. Biomass followed as the third, and food made the most contribution to biomass input. In terms of consumption categories, housing, food and transportation were the main sources of material input. For current urban household consumption, we present appropriate policies to encourage residents to change their unsustainable consumption concepts to sustainable household consumption patterns, such as consumption reduction, sharing economy, ecological design for products and green infrastructure.

Key words: household metabolism; material flow analysis (MFA); sustainable consumption; urban metabolism