

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第4期

Vol.34 No.4

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究	苗红妍, 温天雪, 王丽, 李杏茹, 王跃思 (1225)
鼎湖山 PM _{2.5} 中水溶性离子浓度特征分析	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 刘全 (1232)
北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征	黄怡民, 刘子锐, 陈宏, 王跃思 (1236)
深圳市 PM _{2.5} 化学组成与时空分布特征	云慧, 何凌燕, 黄晓峰, 兰紫娟, 李响, 曾立武 (1245)
福州城市及郊区冬、夏两季大气中多环芳烃特征研究	易志刚, 黄幸然, 毕峻奇, 郭萍萍, 郑丽丽 (1252)
河西走廊及兰州地区典型有机氯农药的大气残留及时空分布特征	丁中原, 毛潇萱, 马子龙, 田慧, 郭强, 黄韬, 高宏, 李军, 张干 (1258)
淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算	薛文博, 王金南, 杨金田, 雷宇, 燕丽, 贺晋瑜, 韩宝平 (1264)
香溪河秋季水-气界面温室气体通量日变化观测及影响因素分析	黄文敏, 朱孔贤, 赵玮, 余博识, 袁希功, 冯瑞杰, 毕永红, 胡征宇 (1270)
变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响	赵微, 林健, 王树芳, 刘记来, 陈忠荣, 寇文杰 (1277)
基于 ArcSWAT 模型的长乐江流域非点源氮素污染源识别和分析	邓欧平, 孙嗣咏, 吕军 (1284)
西安周边河流溶解无机碳浓度及同位素组成初探	郭威, 李祥忠, 刘卫国 (1291)
滇池流域宝象河暴雨径流初始冲刷效应	郭怀成, 向男, 周丰, 王永华, 李发荣, 朱翔, 毛国柱, 于书霞, 李娜, 盛虎, 杨永辉, 何成杰, 王翠榆 (1298)
三峡库区沉积物秋冬初的磷释放通量估算	牛凤霞, 肖尚斌, 王雨春, 刘德富, 黎国育, 王亮, 纪道斌, 杨正健 (1308)
海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况	辛成林, 任景玲, 张桂玲, 郭亚平, 张国玲, 刘素美 (1315)
黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征	吴斌, 宋金明, 李学刚 (1324)
扎龙湿地沉积物重金属空间分布特征及其潜在生态风险评价	叶花香, 臧淑英, 张丽娟, 张玉红 (1333)
上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价	唐庆丽, 程金平, 高昊旻, 姚磊, 蒋真毅, 吴旻, 谢翠松, 梁海, 王鹤, 皮帅帅, 余朝毅 (1340)
我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析	张灿, 陈虹, 余忆玄, 王立军, 韩建波, 陶平 (1345)
江苏某地长江、太湖水源水及出厂水中有机物雌激素活性的比较	金涛, 吕学敏, 曾一凡, 张冰冰, 马鲲鹏, 姜朴, 唐非 (1351)
北京市污水处理厂中邻苯二甲酸酯污染水平及其归趋	周益奇, 刘云霞 (1357)
降解 DMF 引起污泥毒性及其毒性空间分布特性研究	胡园园, 杨娜, 丁毅, 徐文璐, 陈秀荣, 艾奇峰, 陈善佳, 王利鹏, 黄华 (1363)
渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的生态风险	安立会, 张燕强, 宋双双, 刘玥, 高俊敏, 陈浩, 赵兴茹, 雷坤, 郑丙辉 (1369)
巨牡蛎 (<i>Crassostrea</i> sp.) 对燃煤电厂脱硫海水中汞的生物累积	刘锡尧, 袁东星, 陈耀瑾 (1374)
咪唑盐离子液体对蚯蚓急性毒性及体重影响研究	黄若男, 范军杰, 涂宏志, 谭凌燕, 刘惠君, 徐冬梅 (1380)
铝盐混凝除砷影响因素及机制研究	陈桂霞, 胡承志, 朱灵峰, 童华卿 (1386)
混凝和活性炭吸附去除微污染源水中 DON 的研究	刘冰, 余国忠, 古励, 赵承美, 李清飞, 翟慧敏 (1392)
活性炭催化臭氧氧化扑热息痛的机制研究	王佳裕, 戴启洲, 鱼杰, 颜亦舟, 陈建孟 (1402)
氯酚溶液的 γ 辐照还原降解研究	彭云霞, 何仕均, 龚文琪, 王建龙 (1411)
C/N 比对反硝化过程中亚硝酸盐积累的影响分析	袁怡, 黄勇, 邓慧萍, 盛学敏, 潘杨, 李祥 (1416)
以甲醇为碳源生物反硝化过程释放一氧化二氮的试验研究	翟晓峰, 蒋成爱, 吴光学, 曾运涛 (1421)
固体纤维素类废物作为反硝化碳源滤料的比选	李斌, 郝瑞霞 (1428)
基于能源回收的城市污水厌氧氨氧化生物脱氮新工艺	卢健聪, 高大文, 孙学影 (1435)
多模式厌氧/缺氧/好氧污水处理工艺的稳态与动态模拟	周振, 吴志超, 王志伟, 杜兴治, 蒋玲燕, 邢灿 (1442)
高氨氮废水与城市生活污水短程硝化系统菌群比较	赵志瑞, 马斌, 张树军, 李滨, 白志辉, 王晓辉, 庄国强, 张洪助 (1448)
活性污泥絮体的分形结构分析	阮晓东, 刘俊新 (1457)
负荷交替法快速培养好氧硝化颗粒污泥的研究	沈娜, 杨昌柱, 濮文虹, 罗应东 (1464)
预加不同比例不同粒径好氧颗粒对 SBR 中好氧颗粒污泥形成的影响	熊光城, 濮文虹, 杨昌柱 (1472)
同时回收氮磷提高碱性发酵污泥脱水性能的机制研究	张超, 陈银广, 顾国维 (1479)
利用流式细胞仪分选技术研究湖泊真核超微藻的遗传多样性	谢薇薇, 龚伊, 王张伟, 孔繁翔, 史小丽 (1485)
阿魏酸和香豆素对铜绿微囊藻的化感作用	郭亚丽, 傅海燕, 黄国和, 高攀峰, 柴天, 严滨, 廖欢 (1492)
象山港国华电厂强增温海域浮游动物群落结构和多样性的时空特征	朱艺峰, 黄简易, 林霞, 杨莹, 邢超, 严小军 (1498)
环氧树脂降解嗜盐菌的筛选及其处理高盐环氧树脂废水的特性研究	王进, 徐真, 彭书传, 夏明山, 岳正波, 陈天虎 (1510)
铜绿假单胞菌胞内酶粗提液对十溴联苯醚的降解	史广宇, 尹华, 叶锦韶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1517)
酵母提取物对葡萄糖发酵生产生物破乳菌 <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 的影响	黄翔峰, 王凯, 黎明霞, 王彩林, 陆丽君, 刘佳 (1524)
玉米秸秆厌氧降解复合菌系的微生物群落结构	乔江涛, 郭荣波, 袁宪正, 师晓爽, 许晓晖, 范晓蕾, 邱艳玲 (1531)
红霉素对产甲烷菌的抑制及其驯化	刘子旭, 孙力平, 李玉友, 邱春生 (1540)
4 种 NAPLs 污染物在二维砂箱中的指进锋面形态特征研究	杨宾, 李慧颖, 伍斌, 杜晓明, 李发生 (1545)
污灌区土壤中多环芳烃的垂直分布及可能来源	姚林林, 张彩香, 李佳乐, 廖小平, 王焰新 (1553)
呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价	郭伟, 孙文惠, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 张君 (1561)
水稻光合同化碳在土壤不同粒径、密度分组中的分配特征	李苗苗, 聂三安, 陈晓娟, 罗璐, 朱捍华, 石辉, 葛体达, 童成立, 吴金水 (1568)
亚热带不同稻田土壤微生物量碳的剖面分布特征	盛浩, 周萍, 袁红, 廖超林, 黄运湘, 周清, 张杨珠 (1576)
施用堆腐有机肥对水稻土中六氯苯脱氯降解影响	刘翠英, 蒋新 (1583)
螯合剂和生物表面活性剂对 Cu、Pb 污染壤土的淋洗修复	刘霞, 王建涛, 张萌, 王力, 杨亚提 (1590)
不同温度下烧制的秸秆炭对可变电荷土壤吸附 Pb(II) 的影响	蒋田雨, 姜军, 徐仁扣, 周立祥, 王世梅 (1598)
绿色木霉改性玉米秸秆溢油吸附剂的制备及其性能研究	蓝丹琳, 彭丹, 郭楚玲, 朱超飞, 薛秀玲, 党志 (1605)
改性与成型层状氢氧化镁铝对不同水体中 PO ₄ ³⁻ 的脱除性能	邢坤, 王海增 (1611)
羧基化碳纳米管载铂催化剂对微生物燃料电池阴极氧还原性能的影响	涂丽杏, 朱能武, 吴平霄, 李平, 吴锦华 (1617)
新型生物质活性炭烟气脱硫研究	刘洁岭, 汤争光, 陈杰, 蒋文举, 江霞 (1623)
城市工业行业能源消费强度等级划分方法及应用	毛建素, 马兰 (1628)
厦门城市化进程中的居民食物碳消费及其环境负荷	闫祯, 崔胜辉, 李桂林, 任引, 徐礼来 (1636)
《环境科学》征订启事 (1283)	
《环境科学》征稿简则 (1332)	
信息 (1350, 1509, 1582, 1644)	
专辑征稿通知 (1523)	

厦门城市化进程中的居民食物碳消费及其环境负荷

闫祯^{1,2}, 崔胜辉^{1,2*}, 李桂林^{1,2}, 任引^{1,2}, 徐礼来^{1,2}

(1. 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021; 2. 厦门市城市代谢重点实验室, 厦门 361021)

摘要: 随着城市化进程的不断推进, 城市对全球生态系统碳循环的影响越来越显著, 其中城市家庭食物碳消费对全球城市生态系统碳循环的贡献日益突出, 已成为城市生态系统碳循环的研究热点之一。以厦门市为例, 通过分析 1988~2010 年居民食物碳消费的动态变化和家庭分布特征, 评价并预测了由食物碳消费导致的环境负荷。结果表明, 1988~2010 年全市人均食物消费量和人均食物碳消费量分别下降了 6% 和 25%, 但由于厦门市人口的快速增长, 食物消费和食物碳消费的总量均不断增加, 分别增长了 116% 和 70%。居民食物碳消费总量的增加导致环境负荷量不断上升, 由 9.88 万 t 增长至 16.62 万 t, 特别是进入土壤的碳通量近年来快速增加。预测显示 2011~2024 年间厦门市居民食物碳消费总量以及环境负荷量仍将继续上升, 2025 年将有所下降, 人均食物碳消费量则从 2011 年起持续下降。对厦门市居民家庭食物消费的分析表明, 家庭户均食物碳消费主要受到家庭收入、食物消费费用、家庭用餐人数的影响, 食物碳消费较高的家庭通常平均家庭用餐人数 3 人、平均食物消费费用约 3 125 元·月⁻¹, 户均食物碳消费为 1 134.91 kg, 人均食物碳消费量为 378.30 kg, 高食物碳消费的家庭人均食物碳消费量是低食物碳消费家庭人均消费量的 4.84 倍。

关键词: 城市居民食物碳消费; 碳元素流动; 环境负荷; 城市化; 厦门市

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1636-09

Dynamics and Environmental Load of Food Carbon Consumption During Urbanization: A Case Study of Xiamen City, China

YAN Zhen^{1,2}, CUI Sheng-hui^{1,2}, LI Gui-lin^{1,2}, REN Yin^{1,2}, XU Li-lai^{1,2}

(1. Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China; 2. Xiamen Key Laboratory of Urban Metabolism, Xiamen 361021, China)

Abstract: With the rapid urbanization, city plays a more and more significant role in the carbon cycle of urban ecosystem. The contribution of household food carbon consumption to urban carbon cycle has become increasingly important, and has been the hot issues of the urban carbon cycle study. We analyzed the dynamics of the food carbon consumption in Xiamen City from 1988 to 2010, evaluated and forecasted the trends of food carbon consumption and its environmental load. The results showed that, from 1988 to 2010, per capita food consumption and per capita food carbon consumption declined by 6% and 25%, respectively. However, due to the rapid growth of population, the total food consumption and total food carbon consumption increased by 116% and 70%, respectively. The rising of total food carbon consumption led to the increasing environmental load of food carbon. The environmental load of food carbon increased from 98 800 t to 166 200 t, particularly there is a dramatic increase of carbon input into soil in recent years. From 2011 to 2024, total food carbon consumption and environmental load will continue to rise and then decline in 2025. Per capita food carbon consumption will decline continuously from 2011. The analysis of household food consumption showed that per household food carbon consumption was affected by household income, food cost and household persons. High food carbon consumption household usually had in average three persons eating at home, spent in average 3 125 yuan·month⁻¹ on food, the per household food carbon consumption was 1 134.91 kg, and the per capita food carbon consumption was 378.30 kg. Per capita food carbon consumption of high-consumption family was 4.84 times higher than that of low-consumption family.

Key words: food carbon consumption of urban residents; carbon flow; environmental load; urbanization; Xiamen City

过去 200 年间, 人类活动极大地改变了地球的碳循环^[1]。作为人类活动对自然环境最深刻的地区, 城市的 CO₂ 排放量已占到全球总量的 80%^[2]。人类活动造成的碳代谢失衡, 已影响地球生态系统的结构、功能和进化^[3]。随着城市人口的急剧增长, 居民食物消费已成为城市碳代谢的重要过程之一, 其作为城市生态系统的一个重要环节对碳排放和碳循环的影响极其显著^[4,5]。对于家庭食物碳消费的研究不仅有利于提高城市资源利用效

率、减少生产和消费活动对城市环境的影响, 对实现城市的可持续发展也具有重要的理论和现实意义^[6]。

碳元素流动已在全球^[7]、区域^[8]、城市^[9]、家

收稿日期: 2012-07-04; 修订日期: 2012-08-13

基金项目: 厦门市科技计划项目(3502Z20101015); 国际科技合作项目(2011DFB91710); 福建省科技计划软科学项目(2011R0094)

作者简介: 闫祯(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境管理与城市规划, E-mail: zyan@iue.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: shcui@iue.ac.cn

庭^[10]等不同尺度上进行深入探讨,其中对于城市系统的碳循环研究将城市系统作为生态系统与城市生物物理社会经济成分,在不同空间尺度上作为一个整体进行理解^[11~13]。城市区域的研究集中于通过城市土地利用变化影响陆地生态系统碳平衡^[14,15]、城市家庭直接能源使用、个人交通、以及家庭对上游产品生产和服务的购买对碳元素流动的影响等方面^[16~24]。此外也有对生态系统碳代谢^[25],食物消费和能源利用的环境影响^[26],家庭消费活动的环境影响^[27]等方面进行研究。中国的城市碳循环研究集中于居民食物消费营养结构、食物消费生态足迹、食物消费过程中废弃物对环境的影响等方面^[28~31],但对于家庭食物碳消费的研究甚少^[32],对食物碳消费造成的环境负荷进行定量化的研究更鲜见报道。

本研究以厦门市为例,以城市家庭为尺度,分析1988~2010年城市家庭食物碳消费的特征及影响因素,对未来食物碳消费总量和环境负荷进行预测,并揭示出不同食物碳消费水平的家庭特征,以及居民食物消费行为的变化对环境的影响,以为可持续发展的居民食物消费提供科学依据。

1 研究区概况、数据及方法

1.1 厦门市概况

厦门市地处118°04′04″E、24°26′46″N,位于我国东南沿海,背靠漳州、泉州平原,濒临台湾海峡。全市陆地面积1 565 km²,海域面积390 km²。自1988以后,厦门市国民生产总值(GDP)年均增长率近20%,经济始终保持平稳高速增长。厦门市人口增长迅速,1988年厦门市常住人口仅为155万人,2010年达到353万人。居民人均可支配收入由1988年的1 771元快速增长到2010年的29 253元,而人均食物消费支出占个人消费支出的比重由1988年的65%降至2010年的25%^[33]。

1.2 数据来源

本研究的家庭食物消费数据来自于对503户居民的调查问卷。碳折算系数(表1)根据文献[34]中不同食物的蛋白质、脂肪及碳水化合物的含量及其化学组成折算而来。计算食物碳消费造成环境负荷量所需数据包括厦门市污水COD、生活垃圾清运量等,来自厦门市水务集团、厦门市环境保护局、厦门市市容环卫处调研数据。其他统计数据来源于文献[33,35]。由于外出就餐数据难以获取,因此,本研究只针对居民家庭的食物消费,不包括外出就餐。

1.3 研究方法

1.3.1 城市居民食物碳消费量计算

厦门市居民消费的主要食物有13类,包括大米、蔬菜、鲜瓜果、畜禽肉、水产品、蛋类、植物油、酒饮类、奶类、糖果、食糖、茶叶和糕点。由于1988~2010年间的历年糕点、食糖和茶叶的消费量占食物总消费量的比例分别约为1%、0.8%和0.3%左右,对食物碳消费总量的影响甚微,而且糕点的消费种类繁多,难以确定统一的碳折算系数,食糖和茶叶的部分数据缺失,故糕点、食糖和茶叶的碳消费予以忽略。食物中的碳量(W_c)可由公式(1)~(2)计算而得:

$$W_c = \sum_i^n W_{ci} \tag{1}$$

$$W_{ci} = W_i \times r_i \tag{2}$$

式中, W_c 为所有食物的总碳量(g); W_{ci} 为食物*i*的碳量(g); W_i 为食物的消费量(g); r_i 为食物*i*的碳折算系数[g·(100 g)⁻¹],见表1; n 为消费食物的种数。

表1 每100g各类食物的碳折算系数/g
Table 1 Weight of carbon in 100 g food/g

种类	碳含量	种类	碳含量	种类	碳含量
大米	32.68	水产品	14.33	蛋类	15.10
蔬菜	2.74	畜禽肉	25.46	奶类	6.29
水果	4.98	植物油	76.66	酒饮类	4.11

1.3.2 食物碳消费的环境负荷计算

本研究采用物质流分析方法(material flow analysis, MFA),根据物质平衡原理,针对食物碳消费的流动特征,综合分析进入大气、水体、土壤中的碳通量(图1)。其中,城镇居民粪尿以全

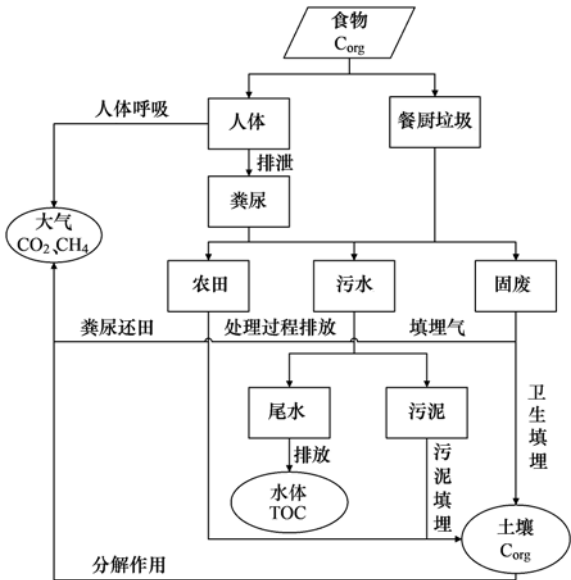


图1 食物碳在城市系统中的流动过程
Fig. 1 Food carbon flow in cities

部进入市政排污管网计,农村居民粪尿以全部还田计. 最终进入大气、土壤和水体中的碳为各环节中的碳量加和,具体计算公式见表 2,参数见表 3.

表 2 食物碳环境负荷的计算公式

Table 2 Calculation equations of the environmental load of food carbon

项目	计算公式
人粪尿(呼吸、吸收)碳量	粪尿碳量 = 人数 × 人均粪尿(呼吸、吸收)含碳量
餐厨垃圾碳量	厨余碳量 = 餐厨垃圾总量 × 餐厨垃圾含碳量
尾水碳量	尾水碳量 = 尾水中的 TOC 值
还田挥发碳量	还田挥发碳量 = 还田肥料量 × 挥发率
污水处理过程中气体排放量 ^[36]	气体排放碳量 = 管道污水 COD × 排放因子
污泥(餐厨垃圾)填埋处理气体排放量 ^[36]	甲烷排放量 = 污泥(餐厨垃圾)质量 × 可降解有机碳 × 实际分解的可降解有机碳比例 × 甲烷修正因子 × 填埋气中甲烷体积比例 × 16/12 二氧化碳排放量 = 污泥(餐厨垃圾)质量 × 可降解有机碳 × 实际分解的可降解有机碳比例 × (1 - 甲烷修正因子 × 填埋气中甲烷体积比例) × 44/12
进入大气(水体、土壤)碳量	进入大气(水体、土壤)碳量 = $\sum$ 各环节进入大气(水体、土壤)碳量

表 3 食物碳环境负荷量的计算参数

Table 3 Calculation parameters of the environmental load of food carbon

参数	单位	数值	文献
人粪尿碳量	%	3% × 摄入的食物碳量	[37]
人呼吸碳量	%	87% × 摄入的食物碳量	[37]
人体吸收碳量	%	10% × 摄入的食物碳量	[37]
厨余垃圾可降解有机碳量	%	15	[36]
肥料挥发率	%	58.8	[38]
污水处理过程中的排放因子(CH ₄ /COD)	kg·kg ⁻¹	0.041 25	[38]
污泥中可降解有机碳量	%	10	[36]
生活污水中食物源的比例	%	55.11	[39]

1.3.3 食物碳消费以及环境负荷的预测

选取 1988 ~ 2010 年厦门市常住人口、人均可支配收入、恩格尔系数、食物价格指数、大学程度(大专及以上)的人口比重、平均家庭人口数、食物消费支出、城市化率等与食物碳消费有关的社会因子,分析其与食物碳消费量的相关性,以及这 9 个影响因子之间的相关性(Pearson),进而剔除具有多重共线性的因子,选择常住人口、人均可支配收入、食物价格指数、大学人口比重这 4 个指标为因变量,以居民食物碳消费量为自变量,进行多元线性回归,得到居民食物碳消费量的变化函数,以此预测未来食物碳消费及其环境负荷,以上统计分析均在 SPSS 16.0 上完成.

1.3.4 家庭食物碳消费的研究方法

利用 2011 年对 503 户家庭的调查问卷,选取职业、学历、年龄、家庭收入、家庭用餐人数、家庭食物消费费用这 5 个影响因素,通过比较不同家庭间食物碳消费差异,分析人口经济因素对家庭食物碳消费的影响,从而确定食物碳消费较高家庭的人口经济特征. 分析过程中,采用单因素方差分析、多元回归、因子分析和聚类分析等统计方法,以上统

计分析在 SPSS 16.0 上完成.

2 结果与分析

2.1 厦门市居民食物消费变化

1988 ~ 2010 年间,厦门市全市的人均食物消费量呈整体下降之势,但食物消费总量持续增加. 1988 年人均食物消费量为 321.28 kg·(人·a)⁻¹,之后波动下降至 2010 年的 301.32 kg·(人·a)⁻¹,降低了 6%. 尽管人均食物消费量一直减少,但由于人口总量持续增长,所以全市食物消费总量持续增加. 1988 年全市食物消费总量为 49.33 万 t,到 2010 年增长至 106.36 万 t,增长了约 1.16 倍(图 2).

2.2 厦门市居民食物碳消费量变化特征

厦门市居民食物碳消费总量呈波动上升趋势[图 3(a)],从 1988 年的 10.14 万 t 增长到 2010 年的 17.29 万 t,增长了 70%. 而 1988 ~ 2010 年人均食物碳消费量从 1988 年的 65.23 kg·(人·a)⁻¹降至 2010 年的 48.97 kg·(人·a)⁻¹,降幅达 25%. 人均食物碳消费量取决于人均食物消费量和食物消费结构. 分析发现,人均食物碳消费量与人均食物消费量相关性不显著($r=0.28, P=0.199$). 而食物消费

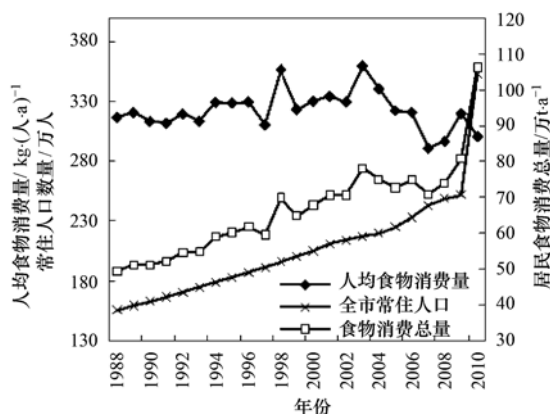


图2 1988~2010年厦门市居民人均食物消费量、食物消费总量以及常住人口总量变化趋势

Fig. 2 Changes in the amounts of per capita, total food consumption and permanent population of Xiamen in the 1988-2010 period

结构变化[图3(b)],不同食物中碳含量又各具差异,造成了人均食物碳消费量发生变化。根据人均食物碳消费量的变化趋势,可将其大致分为上升期(1988~1995年)和下降期(1996~2010年)。

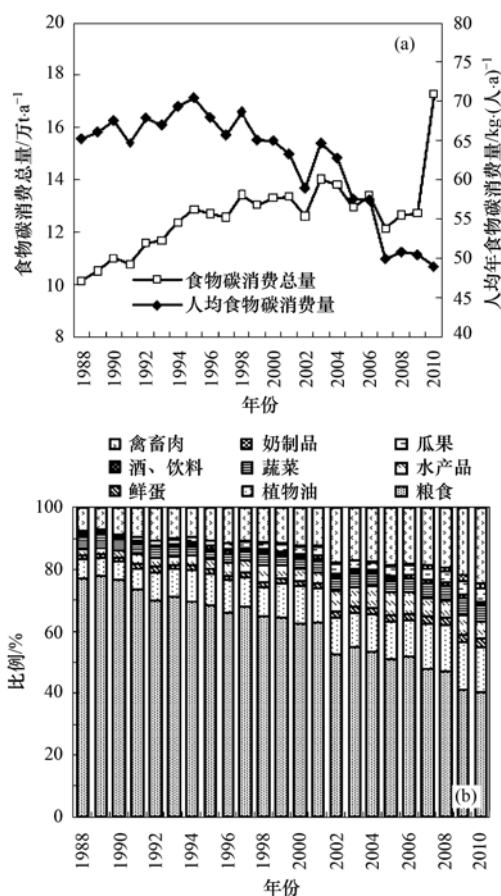


图3 1988~2010年厦门市居民食物碳消费量和消费结构

Fig. 3 Food carbon consumption and food carbon structure of residents in Xiamen in the 1988-2010 period

1988~1995年人均食物碳消费量呈上升趋势($r_c = 0.762$)。其中粮食和蔬菜的人均碳消费量显著下降($r_l = -0.476, r_s = -0.929$),植物油、禽畜肉、鲜蛋、水产品、酒饮料、瓜果、奶制品人均碳消费量均显著上升($r_z = 0.881, r_q = 0.881, r_d = 0.810; r_w = 0.823, r_j = 0.976, r_g = 0.929, r_n = 0.619$)。1988~1995年间人均食物碳消费量的上升主要是来自禽畜肉、植物油的人均碳消费量上升的贡献($r_{qc} = 0.690, r_{zc} = 0.690$)。

1996~2010年人均食物碳消费量呈下降趋势($r_c = -0.961$)其中粮食和酒饮料的人均碳消费量显著下降($r_l = -0.986, r_j = -0.689$),植物油、禽畜肉、鲜蛋、水产品、蔬菜、瓜果、奶制品均上升($r_z = 0.425, r_q = 0.800, r_d = 0.579, r_w = 0.354, r_s = 0.432, r_g = 0.704, r_n = 0.839$)。1996~2010年间,人均粮食碳消费量的大幅下降是引起人均食物碳消费量下降的主要原因($r_{lc} = 0.971$)。

2.3 厦门居民食物碳消费的环境负荷分析

食物中的碳元素,少部分被人体吸收,其余以呼吸、排泄物等途径进入环境。其中呼出的 CO_2 直接进入大气,人体排泄物则通过市政污水管网进入污水处理厂,另一部分则以餐厨垃圾的形式直接进入垃圾填埋场。笔者考虑了在污水处理、污泥处理和垃圾处理过程中的 CO_2 和 CH_4 排放。根据食物中碳元素的流动过程,分析1991~2010年间食物碳消费造成的环境负荷,结果见图4。

1991~2010年进入环境中的碳总量逐年增加,从1991年排入环境中的9.88万t,增长至2010年的16.62万t,增长了68%。排入大气的碳所占比例最大(>50%),其次为排入土壤的碳(<40%),排入水体的碳比例最小(<10%)。排放进入大气中的碳1991年为8.21万t,期间先波动上升后又略有下降至2010年的9.14万t,其占排放总量的比例由1991年的83%下降到了2010年的55%;进入土壤中的碳总量从1991年的0.76万t,近年来快速上升至2010年的6.87万t,其占排放总量的比例由8%增加到41%,增长了8倍;进入水体中的碳总量略有下降,从1991年的0.92万t,小幅下降至2010年的0.61万t,其所占比例由9%降至4%,这可能与污水处理工艺提改进、有机碳去除率提高有关。

进入土壤的碳绝对量和相对比例均显著上升,主要是由于近年来餐厨垃圾量急剧增长造成的(图5)。已有研究发现,随着废水处理工艺的提高和城市生活垃圾量的迅速增长,厦门市废弃物处理的主

要排放源由废水处理转变为固体废弃物填埋^[40], 1991 年厦门市餐厨垃圾量占食物消费总量的比例仅为 10%, 近两年来已超过 50%. 绝大部分家庭餐厨垃圾直接进入垃圾填埋场, 由此不仅产生了大量的 CO_2 和 CH_4 等温室气体, 更导致大量的有机碳进入土壤, 从而造成土壤中碳总量的快速增长. 经济水平提高显著改善了居民食物消费结构, 但同时也导致食物浪费日趋严重, 加之餐厨垃圾处理能力不足、处理方式单一, 进而加剧了环境负荷, 因此减少食物浪费是引导居民低碳食物消费的重要方面. 另外填埋是目前厦门市较为普遍的餐厨垃圾处理方法, 虽然操作简单但占用大量土地, 不仅产生大量温室气体, 产生的渗沥液也会造成二次污染, 因此改变餐厨垃圾处理方式, 通过焚烧、发酵、堆肥等方法, 将处理后的产物用作农业肥料和家畜饲料, 不仅能够实现餐厨垃圾的再利用、减少污染还能有效地降低食物碳消费的环境负荷.

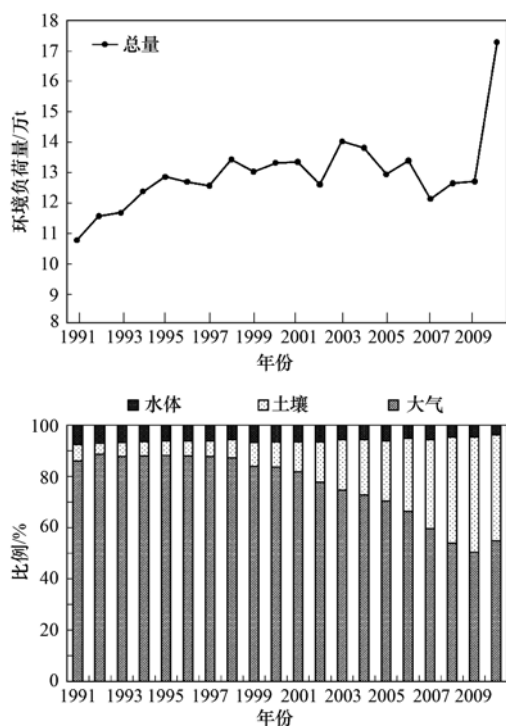


图 4 食物碳消费在环境介质中的负荷量

Fig. 4 Environmental load of food carbon consumption

2.4 食物碳消费总量及其环境负荷量的预测

选取的 9 个经济社会因子与食物碳消费总量的 Pearson 相关性分析结果表明与食物碳消费总量均呈极显著正相关, 但是通过对这 9 个因子之间的相关性分析发现, 人均 GDP、恩格尔系数和人均可支配收入这 3 个因子高度相关, 具有多重共线性, 食物价格指数与食物消费支出之间有共线性, 大学学历

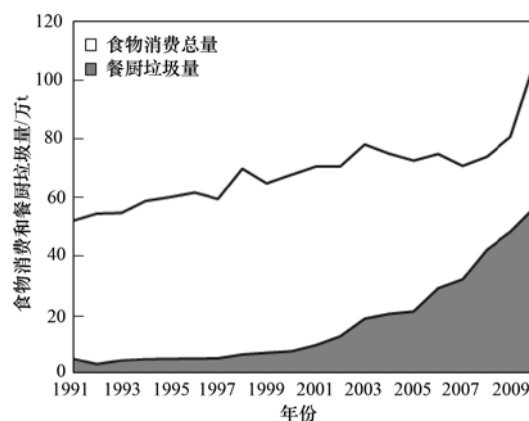


图 5 餐厨垃圾和食物消费总量变化趋势

Fig. 5 Trends of food waste and food consumption

人口比重与城镇化率之间具有共线性, 常住人口与平均家庭人口之间具有共线性, 因此在具有共线性的各组因子中分别选取一个来表征, 最终选择人均可支配收入、食物价格指数、大学人口比重、常住人口这几个指标进行多元线性回归, 得到标准化回归结果为:

$$y = 1.574x_1 - 2.360x_2 + 0.682x_3$$

$$(R^2 = 0.889, P = 0.000)$$

式中, x_1 为常住人口, x_2 为人均可支配收入, x_3 为食物价格指数, 方程通过显著性检验拟合效果较好. 其中各自变量的容忍度 (Tolerance) 均大于 0.1, 方差膨胀因子 (VIF) 均小于 10, 自变量之间不存在多重共线性. 为进一步验证所得方程的可靠性, 将 1988 ~ 2010 年的数据代入该方程, 计算值与实际值的平均相对误差仅为 3%, 方程模拟效果良好.

从回归方程可知, 控制人口过快增长, 增加居民的人均可支配收入, 降低食物价格指数, 可以减少食物碳消费, 进而减少其造成的环境负荷. 其中人均可支配收入对食物碳消费总量的影响最为显著, 因此, 大力增加居民的人均可支配收入是降低居民食物碳消费的重中之重.

根据厦门市“十一五”期间的人均可支配收入增长率、食物价格指数的增长情况以及“十二五”规划目标, 预计到 2025 年人均可支配收入增长至 131 240 元, 食物价格指数增长至 898 元. 假设未来厦门人口增长率为“十一五”期间的平均增长率, 按照马尔萨斯人口模型预测, 到 2025 年人口将达 796 万. 预测未来厦门市食物碳消费的增长情景显示 (图 6): 2011 ~ 2024 年厦门市居民食物碳消费总量仍将上升, 2025 年将有所下降. 人均食物碳消费未来数年一直呈下降趋势, 但是考虑到人体对食物碳

的消费有一定的生理阈值,因此人均食物碳消费量将在下降到某临界值后保持相对平稳.同时,厦门市居民食物碳消费总量也将随着人口数量和人均食物碳消费量的稳定而最终逐渐趋于稳定.

假设与 2010 年相比,未来餐厨垃圾占食物消费量的比例、人体对摄入食物中碳元素的吸收率和排泄率、餐厨垃圾处理、污水处理水平保持恒定,按照厦门市居民食物碳消费的预测值,2011~2025 年环境负荷量变化趋势将和食物碳消费量相似.预计 2011~2024 年环境负荷总量仍会上升,2025 年将有所下降.考虑到未来废弃物处理技术的不断发展,环境负荷量的下降幅度应该比预测值更显著.

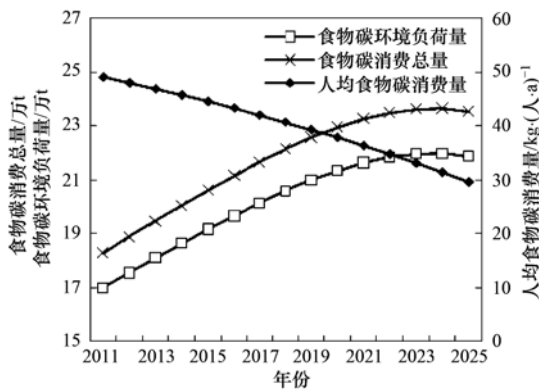


图 6 2011~2025 年食物碳消费量及其环境负荷量预测
Fig. 6 Prediction of food carbon consumption and its environmental load in the 2011-2025 period

2.5 厦门市家庭户均食物碳消费特征及影响因素
2.5.1 厦门市居民家庭户均食物碳消费主要影响因素分析

将家庭人口经济因素同家庭户均食物碳消费量进行单因素方差分析的结果表明,不同家庭收入、用餐人数、食物消费费用的家庭间的户均食物碳消费均存在显著差异(P 为 0.004、0.000、0.000, 95% 的置信度),而家庭主要食物购买者的文化程度、职业以及家庭平均年龄,对家庭户均食物碳消

费无显著差异(P 为 0.081、0.113、0.683).由于单因素方差分析无法排除因子间的相互影响,为更好地探究人口经济因素对家庭食物碳消费的影响,采用多元线性回归(Stepwise),鉴别出家庭食物碳消费的主要影响因素及其影响程度.

对于户均食物碳消费而言,家庭用餐人数、食物消费费用 2 个因子依次进入回归方程,标准化回归方程为:

$$y = 0.312x_1 + 0.197x_2$$
$$(F = 50.17; P = 0.000)$$

式中, x_1 为家庭用餐人数, x_2 为食物消费费用.家庭用餐人数的回归系数最大,可认为是家庭户均食物碳消费的主要影响因素.回归分析表明,在其他因素不变的条件下,随着家庭用餐人数和食物消费费用的增加,家庭户均食物碳消费也越多.

2.5.2 食物碳消费的家庭特征分析

基于前述分析,进一步通过聚类分析来揭示不同类型家庭的食物碳消费特征.因样本量大,本研究采用快速样本聚类分析(K-Means Cluster),将家庭人口经济特征与食物碳消费水平的高低组合分为 3 类,从而得出其相应的特征.对聚类结果的类别间距离进行方差分析表明,类别间距离差异的相伴概率值均小于 0.001,聚类效果很好.

按照每一类户均和人均食物碳消费水平,将 3 类家庭分别命名为:高、中等、低食物碳消费家庭.根据聚类结果,将数据重新统计(表 4)后发现:虽然高食物碳消费的家庭数量很少(4 户),仅占全部家庭总数的 0.8%,但就户均而言,同样是平均家庭用餐人数为 3 人,高食物碳消费的家庭户均食物碳消费量是低食物碳消费家庭的 4.84 倍,就人均而言,高食物碳消费家庭的人均食物碳消费量是中等食物碳消费家庭的 3.04 倍,因此引导居民合理的食物消费,降低居民食物碳消费防止更多的高食物碳消费家庭产生具有重要的意义.

表 4 家庭户均食物碳消费聚类分析结果

Table 4 Cluster analysis of per household food carbon consumption

项目	低食物碳消费	中等食物碳消费	高食物碳消费
户均食物碳消费量/kg·户 ⁻¹	234.47	497.71	1 134.91
人均食物碳消费量/kg·人 ⁻¹	78.16	124.43	378.30
家庭用餐人数/人	3	4	3
食物消费费用/元	1 465	1 629	3 125
家庭数量/个	374	125	4

3 讨论

厦门市食物碳消费的分析表明,1988~2010 年

食物碳消费总量持续上升,人均食物碳的消费量下降,这说明人均食物消费对环境造成的影响在降低,但是总体上由食物消费造成的环境负荷在不断增

加。进入家庭消费的食物碳总量中,虽然由于呼吸、餐厨垃圾和污泥填埋以及废水处理等过程所排放的 CO_2 、 CH_4 占全市排放总量的比例非常小,但是进入家庭之前,食物还经历了生产、加工、运输等环节,这些环节向环境中排放的 CO_2 绝不容忽视。研究表明,家庭消费引起的直接和间接 CO_2 排放中,食物消费为除能源利用外的最大排放源,占了家庭 CO_2 排放量的13%^[41]。

1998~2010年间,食物消费结构改变明显,谷物消费持续下降,动物性食物消费显著上升,居民膳食结构得到改善。但由于我国正处于城市社会经济发展的高速阶段,食物消费结构尚未达到稳定状态,正在向以动物性食物为主的食物消费模式过渡。从生命周期角度而言,奶制品、肉类等食品的碳排放都远高于粮食、蔬菜等植物性食物^[43]。另外,动物性食物摄入量过高的消费模式并非合理的膳食结构,会诱发肥胖、高血脂、高血压、高血糖等疾病,影响居民的身体健康。因此,既能满足人体营养需求,又能尽量降低食物碳消费的膳食结构是未来需要深入探讨的科学问题。

外出就餐的食物消费量、垃圾产生量和处理方式缺少统计资料,因此在本研究中均被忽略,仅考虑了居民家庭食物碳消费,由此可能造成所得食物碳消费量偏低。此外在分析食物碳消费的环境负荷时,计算所需的各项参数来自于相关文献,这些并非针对厦门市所作的研究,因此也会导致误差产生。

进入土壤的食物碳环境负荷量逐年增加,与近年来食物浪费严重、餐厨垃圾量不断增加有关。此外,由于厦门市餐厨垃圾和其他生活垃圾没有分类,加之固体废弃物处理方式单一,造成了土壤中的食物碳负荷量显著上升。进入水体中的食物碳负荷量有所下降,这与水处理技术进步有关。水处理技术的提高虽然使得水体中的碳负荷量下降,但是这部分碳负荷量并没有消失而是转移到污泥中,而厦门市污泥处理方式以填埋为主,因此这也造成了土壤中碳负荷量增加。开发合理的污泥有机碳回收技术,是未来低碳社会建设必须考虑的科学问题之一。

食物碳消费量受到众多经济、社会、人口因素的影响,但是由于预测方法所限只有常住人口,食物价格指数和人均可支配收入进入回归方程,并且本研究假设3个变量在未来的增长率和“十一五”期间相同,对环境负荷的预测还假设未来餐厨垃圾占食物消费量的比例、人体对摄入食物中碳元素的吸收率和排泄率、餐厨垃圾处理、污水处理水平保持

恒定,由此也会一定程度上导致误差产生,造成拐点预测的不确定性。

由于城市生态系统高度依赖外界物质能量的输入,以及人口不断增加导致的食物碳消费量的持续增加,城市将需要更多的物质和能量输入,也将会对城市边界以外的区域带来更多的生态压力。城市发展的可持续性不仅受到外部自然环境、经济水平、政府政策等方面的影响,居民的个人选择对于城市的可持续发展也有着重要的影响,研究居民食物消费,在满足基本生活需要的基础上对居民个人选择进行科学的引导,改变居民的消费观念,形成合理营养的消费结构、减少食物浪费,对城市可持续发展有重要的作用。

4 结论

(1)1988~2010年人均食物消费量和人均食物碳消费量均有所下降,但是由于人口的快速增加,食物消费总量以及食物碳消费总量均显著上升,由此造成的环境负荷总量持续增加。食物消费量与食物碳消费量变化特征并不完全相同,这主要是由于不同食物中的碳元素含量不同,并且食物消费结构发生变化所造成的,从各类食物消费量的变化趋势来看,食物消费结构尚未达到稳定状态,粮食的消费量很可能继续下降,而植物油、禽畜肉、蛋奶制品等可能会继续上升,存在转向高动物性食物消费模式的可能性。

(2)2011~2024年食物碳消费总量以及环境负荷量仍将继续上升,但是2025年后二者将有所下降,预测结果表明控制人口过快增长,增加居民的人均可支配收入、降低食物价格指数将有效的减少食物碳消费量,其中人均可支配收入对食物碳消费总量的影响最为显著,因此大力增加居民的人均可支配收入是降低居民食物碳消费重点。人均食物碳消费量将持续降低,考虑到人的生理阈值人均食物碳消费量将在下降到某临界值后保持相对平稳。另外,由于环境负荷量很大程度上受到食物碳消费总量的影响,科学引导居民食物消费减少食物浪费,改变餐厨垃圾处理方法,提高处理技术将有效减少食物消费造成的环境负荷。

(3)家庭用餐人数以及家庭食物消费费用对户均食物碳消费的影响最为显著。高食物碳消费的家庭数量很少,但是食物消费费用较高,无论是户均食物碳消费量还是人均食物碳消费量,都远高于其他家庭,因此引导居民合理的食物消费,形成科学的消

费观,对防止更多的高食物碳消费家庭产生具有重要意义。

参考文献:

- [1] Falkowski P, Scholes R J, Boyle E, *et al.* The global carbon cycle; A test of our knowledge of earth as a system[J]. *Science*, 2000, **290**(5490): 291-296.
- [2] Churkina G. Modeling the carbon cycle of urban systems[J]. *Ecological Modeling*, 2008, **216**(2): 107-113.
- [3] Peñuelas J, Sardans J, Rivas-Ubach A, *et al.* The human-induced imbalance between C, N and P in Earth's life system[J]. *Global Change Biology*, 2012, **18**(1): 3-6.
- [4] Decker E H, Elliott S, Smith F A, *et al.* Energy and material flow through the urban ecosystem[J]. *Annual Review of Energy and the Environment*, 2000, **25**(1): 685-740.
- [5] Baker L A, Brezonik P L, Mulla D, *et al.* Coupled biogeochemical cycles in human ecosystems[R]. Minnesota: WRC Staff-Generated Research Program, 2003. 4-9.
- [6] Carlsson-Kanyama A, Karlsson R, Moll H, *et al.* Household metabolism in the five cities[R]. Stockholm: Swedish National Report, 2002. 6-41.
- [7] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(1): 7-20.
- [8] Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming [J]. *Ecological Applications*, 1991, **1**(2): 182-195.
- [9] Brunner P H, Rechberger H. Anthropogenic Metabolism and Environmental Legacies [J]. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 2002, **3**(1): 54-72.
- [10] Fissore C, Hobbie S E, King J Y, *et al.* The residential landscape: fluxes of elements and the role of household decisions[J]. *Urban Ecosystems*, 2012, **15**(1): 1-18.
- [11] Alberti M, Waddell P. An integrated urban development and ecological simulation model[J]. *Integrated Assessment*, 2000, **1**(3): 215-227.
- [12] Grimm N B, Grove J M, Pickett S T A, *et al.* Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems[J]. *Bioscience*, 2000, **50**(7): 571-584.
- [13] Pickett S T A, Cadenasso M L, Grove J M, *et al.* Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2001, **32**(1): 127-157.
- [14] Alig R J, Adams D M, McCarl B A. Projecting impacts of global climate change on the US forest and agriculture sectors and carbon budgets[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, **169**(1-2): 3-14.
- [15] Alig R J, Butler B J. Projecting large-scale area changes in land use and land cover for terrestrial carbon analyses [J]. *Environmental Management*, 2004, **33**(4): 443-456.
- [16] Bastianoni S, Pulselli F M, Tiezzi E. The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions [J]. *Ecological Economics*, 2004, **49**(3): 253-257.
- [17] Bin S, Dowlatabadi H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions[J]. *Energy Policy*, 2005, **33**(2): 197-208.
- [18] Jackson T, Papathanasopoulou E. Luxury or 'lock-in'? an exploration of unsustainable consumption in the UK: 1968 to 2000[J]. *Ecological Economics*, 2008, **68**(1-2): 80-95.
- [19] Jackson T, Papathanasopoulou E, Bradley P, *et al.* Attributing carbon emissions to functional household needs: a pilot framework for the UK[A]. In: *International Conference on Regional and Urban Modelling*, June 1-2, 2006 [C]. Brussels, Belgium, 2006: 1-28.
- [20] Munksgaard J, Pedersen K A. CO₂ accounts for open economies: producer or consumer responsibility? [J]. *Energy Policy*, 2001, **29**(4): 327-334.
- [21] Nijdam D S, Wilting H C, Goedkoop M J, *et al.* Environmental load from dutch private consumption: how much damage takes place abroad? [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, **9**(1-2): 147-168.
- [22] Peters G P, Hertwich E G. The importance of imports for household environmental impacts [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2006, **10**(3): 89-109.
- [23] Peters G P. From production-based to consumption-based national emission inventories[J]. *Ecological Economics*, 2008, **65**(1): 13-23.
- [24] Weber C L, Matthews H S. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint[J]. *Ecological Economics*, 2008, **66**(2-3): 379-391.
- [25] Fissore C, Baker L A, Hobbie S E, *et al.* Carbon, nitrogen, and phosphorus fluxes in household ecosystems in the Minneapolis-Saint Paul, Minnesota, urban region [J]. *Ecological Applications*, 2011, **21**(3): 619-639.
- [26] Faist M, Kytzia S, Baccini P. The impact of household food consumption on resource and energy[J]. *International Journal of Environmental and Pollution*, 2001, **15**(2): 183-199.
- [27] Payer H, Burger P, Lorek S. The environmental impacts of household food consumption in Austria: national case study[R]. Austria: Paper for the OECD Environment Directorate, Programme on Sustainable Consumption, 2000. 8-60.
- [28] 翟凤英, 何宇纳, 马冠生, 等. 中国城乡居民食物消费现状及变化趋势[J]. *中华流行病学杂志*, 2005, **26**(7): 485-488.
- [29] 舒倩, 周国华, 张小红, 等. 长沙市城市居民生活消费生态足迹分析[J]. *国土资源科技管理*, 2005, **22**(4): 108-111.
- [30] 罗巍, 翟凤英, 金水高, 等. 中国成人家庭内部食物分配及影响因素[J]. *营养学报*, 2001, **23**(4): 358-362.
- [31] 张慧, 赵延德, 潘保田. 居民家庭消费结构变动的环境效应研究——以兰州市为例[J]. *国土与自然资源研究*, 2006, (4): 69-70.
- [32] 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.
- [33] 厦门市统计局. 厦门经济特区年鉴(1989-2010)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1989-2010.
- [34] 杨月欣, 王光正, 潘兴昌. 中国食物成分表2002[M]. 北京:

- 北京大学医学出版社, 2002. 23-211.
- [35] 福建省统计局. 福建统计年鉴(1989-2010)[M]. 北京: 中国统计出版社, 1989-2010.
- [36] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Volume 5, Chapter 3) [R]. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. 7-20.
- [37] Baker L A, Hartzheim P M, Hobbie S E, *et al.* Effect of consumption choices on fluxes of carbon, nitrogen and phosphorus through households[J]. *Urban Ecosystems*, 2007, **10**(2): 97-117.
- [38] 周艺敏, 王正祥. 有机肥料在半干旱条件下的腐解残留特点[J]. *天津农业科学*, 1997, **3**(2): 5-8.
- [39] 王钟. 典型城市居民家庭排水产污系数研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009. 11-45.
- [40] 于洋, 崔胜辉, 林剑艺, 等. 城市废弃物处理温室气体排放研究: 以厦门市为例[J]. *环境科学*, 2012, **33**(9): 359-365.
- [41] Munksgaard J. Applications of IO models for LCA: some experiences from the energy area. In: Weidema B P, Nielsen A M (Eds.). *Input/Output analysis-Shortcuts to life cycle data?* Environmental Project No. 581 [R]. Copenhagen, Denmark: Miljøstyrelsen, Ministry for Environment and Energy, 2001. 33-41.
- [42] Weber C L, Matthews H S. Food-Miles and the relative climate impacts of food choices in the United States[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(10): 3508-3513.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2012年12月7日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单. 《环境科学》连续11次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号. “百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.

CONTENTS

Water-soluble Inorganic Salts in Ambient Aerosol Particles in Tangshan	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Li, <i>et al.</i> (1225)
Characterization of Water-soluble ions in PM _{2.5} at Dinghu Mount	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1232)
Characteristics of Mass Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions During Summer and Winter Haze Days of Beijing	HUANG Yi-min, LIU Zi-rui, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1236)
Characterising Seasonal Variation and Spatial Distribution of PM _{2.5} Species in Shenzhen	YUN Hui, HE Ling-yan, HUANG Xiao-feng, <i>et al.</i> (1245)
Characteristics of PAHs in the Atmosphere in Winter and Summer in the Urban and Suburban of Fuzhou	YI Zhi-gang, HUANG Xing-ran, BI Jun-qi, <i>et al.</i> (1252)
Seasonal Variation and Spatial Distribution of Typical Organochlorine Pesticides in the Atmosphere of Hexi Corridor and Lanzhou, Northwest China	DING Zhong-yuan, MAO Xiao-xuan, MA Zi-long, <i>et al.</i> (1258)
Simulation of Air Pollution Characteristics and Estimates of Environmental Capacity in Zibo City	XUE Wen-bo, WANG Jin-nan, YANG Jin-tian, <i>et al.</i> (1264)
Diurnal Changes in Greenhouse Gases at Water-Air Interface of Xiangxi River in Autumn and Their Influencing Factors	HUANG Wen-min, ZHU Kong-xian, ZHAO Wei, <i>et al.</i> (1270)
Influence of Human Activities on Groundwater Environment Based on Coefficient Variation Method	ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1277)
Nitrogen Non-Point Source Pollution Identification Based on ArcSWAT in Changhe River	DENG Ou-ping, SUN Si-yang, LÜ Jun (1284)
Study on the Content and Carbon Isotopic Composition of Water Dissolved Inorganic Carbon from Rivers Around Xi'an City	GUO Wei, LI Xiang-zhong, LIU Wei-guo (1291)
First Flush Effects of Storm Events of Baoxiang River in Lake Dianchi Watershed	GUO Huai-cheng, XIANG Nan, ZHOU Feng, <i>et al.</i> (1298)
Estimation of Releasing Fluxes of Sediment Phosphorous in the Three Gorges Reservoir During Late Autumn and Early Winter	NIU Feng-xia, XIAO Shang-bin, WANG Yu-chun, <i>et al.</i> (1308)
Distributions and Pollution Status of Heavy Metals in the Suspended Particles of the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	XIN Cheng-lin, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (1315)
Environmental Characteristics of Heavy Metals in Surface Sediments from the Huanghe Estuary	WU Bin, SONG Jin-ming, LI Xue-gang (1324)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Zhalong Wetland	YE Hua-xiang, ZANG Shu-ying, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (1333)
Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals of the Typical Dredged Mud in Shanghai	TANG Qing-li, CHENG Jin-ping, GAO Hao-min, <i>et al.</i> (1340)
Pollution Characteristics of Heavy Metals in Sludge from Wastewater Treatment Plants and Sludge Disposal in Chinese Coastal Areas	ZHANG Can, CHEN Hong, YU Yi-xuan, <i>et al.</i> (1345)
Comparison of the Estrogenic Activity of Organic Compounds in Source Water and Finished Water from the Yangtze River and Taihu Lake in Certain Areas of Jiangsu Province	JIN Tao, LÜ Xue-min, ZENG Yi-fan, <i>et al.</i> (1351)
Occurrence and Fate of Phthalates in Wastewater Treatment Plants in Beijing, China	ZHOU Yi-qi, LIU Yun-xia (1357)
Research on Sludge Toxicity Caused by DMF Biodegradation and Toxicity Spatial Distribution in Sludge Flocs	HU Yuan-yuan, YANG Na, DING Yi, <i>et al.</i> (1363)
Study on the Ecological Risk of Wild Veined Rapa Whelk (<i>Rapana venosa</i>) Exposed to Organotin Compounds in Bohai Bay, China	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, SONG Shuang-shuang, <i>et al.</i> (1369)
Bioaccumulation of Mercury in <i>Crassostrea</i> sp. Exposed to Waste Seawater Discharged from a Coal-fired Power Plant Equipped with a Seawater Flue-gas Desulfurization System	LIU Xi-yao, YUAN Dong-xing, CHEN Yao-jin (1374)
Effects of Imidazolium Chloride Ionic Liquids on the Acute Toxicity and Weight of Earthworm	HUANG Ruo-nan, FAN Jun-jie, TU Hong-zhi, <i>et al.</i> (1380)
Influencing Factors and Mechanism of Arsenic Removal During the Aluminum Coagulation Process	CHEN Gui-xia, HU Cheng-zhi, ZHU Ling-feng, <i>et al.</i> (1386)
Removal of DON in Micro-polluted Raw Water by Coagulation and Adsorption Using Activated Carbon	LIU Bing, YU Guo-zhong, GU Li, <i>et al.</i> (1392)
Mechanism of Catalytic Ozonation for the Degradation of Paracetamol by Activated Carbon	WANG Jia-yu, DAI Qi-zhou, YU Jie, <i>et al.</i> (1402)
Reductive Degradation of Chlorophenols in Aqueous Solution by Gamma Irradiation	PENG Yun-xia, HE Shi-jun, GONG Wen-qi, <i>et al.</i> (1411)
Effect of C/N Ratio on Nitrite Accumulation During Denitrification Process	YUAN Yi, HUANG Yong, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (1416)
Nitrous Oxide Emission During Denitrification for Activated Sludge Acclimated with Methanol as the Organic Carbon	ZHAI Xiao-feng, JIANG Cheng-ai, WU Guang-xue, <i>et al.</i> (1421)
Comparison and Optimization of Cellulose Carbon Source for Denitrification Filter	LI Bin, HAO Rui-xia (1428)
A Novel Municipal Wastewater Treating Process for Energy Production and Autotrophic Nitrogen Removal Based on ANAMMOX	LU Jian-cong, GAO Da-wen, SUN Xue-ying (1435)
Modeling and Dynamic Simulation of the Multimode Anaerobic/Anoxic/Aerobic Wastewater Treatment Process	ZHOU Zhen, WU Zhi-chao, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1442)
Comparing Microbial Community of High Ammonia Wastewater and Municipal Sewage in a Partial Nitrification System	ZHAO Zhi-rui, MA Bin, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (1448)
Analysis of the Fractal Structure of Activated Sludge Flocs	RUAN Xiao-dong, LIU Jun-xin (1457)
Rapid Cultivation of Aerobic Nitrifying Granular Sludge with Alternate Loading Method	SHEN Na, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1464)
Acceleration of the Formation of Aerobic Granules in SBR by Inoculating Different Proportions and Different Diameters of Mature Aerobic Granules	XIONG Guang-cheng, PU Wen-hong, YANG Chang-zhu (1472)
Mechanisms of the Improvement in Dewaterability of Alkaline Fermented Sludge by Simultaneous Ammonium and Phosphate Recovery	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang, GU Guo-wei (1479)
Use of Flow Cytometric Sorting to Assess the Diversity of Eukaryotic Picophytoplankton of Lakes	XIE Wei-wei, GONG Yi, WANG Zhi-xue, <i>et al.</i> (1485)
Allelopathy Effects of Ferulic Acid and Coumarin on <i>Microcystis aeruginosa</i>	GUO Ya-li, FU Hai-yan, HUANG Guo-he, <i>et al.</i> (1492)
Spatiotemporal Characteristics of Zooplankton Community Structure and Diversity in the Strong Temperature Increment Seawaters near Guohua Power Plant in Xiangshan Bay	ZHU Yi-feng, HUANG Jian-yi, LIN Xia, <i>et al.</i> (1498)
Screening of Epoxy-degrading Halophiles and Their Application in High-salt Wastewater Treatment	WANG Jin, XU Zhen, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (1510)
Biodegradation of Decabromodiphenyl Ether by Intracellular Enzyme Obtained from <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SHI Guang-yu, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1517)
Influence of Yeast Extract on the Fermentation of Glucose by the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, WANG Kai, LI Ming-xia, <i>et al.</i> (1524)
Phylogenetic Analysis of Methanogenic Corn Stalk Degrading Microbial Communities	QIAO Jiang-tao, GUO Rong-bo, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (1531)
Inhibition of Methanogenium by Erythromycin and Its Domestation	LIU Zi-xu, SUN Li-ping, LI Yu-you, <i>et al.</i> (1540)
Sand Box Study on Fingering Front Morphology for NAPLs Infiltrated in Homogeneous Porous Media	YANG Bin, LI Hui-ying, WU Bin, <i>et al.</i> (1545)
Vertical Distribution and Possible Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sewage Area Soil	YAO Lin-lin, ZHANG Cai-xiang, LI Jia-le, <i>et al.</i> (1553)
Characteristic and Evaluation of Soil Pollution by Heavy Metal in Different Functional Zones of Hohhot	GUO Wei, SUN Wen-hui, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1561)
Distribution Characteristics of Rice Photosynthesized Carbon in Soil Aggregates of Different Size and Density	LI Miao-miao, NIE San-an, CHEN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1568)
Profile of Soil Microbial Biomass Carbon in Different Types of Subtropical Paddy Soils	SHENG Hao, ZHOU Ping, YUAN Hong, <i>et al.</i> (1576)
Effect of Composting Organic Fertilizer Supplies on Hexachlorobenzene Dechlorination in Paddy Soils	LIU Cui-ying, JIANG Xin (1583)
Remediation of Cu-Pb-Contaminated Loess Soil by Leaching with Chelating Agent and Biosurfactant	LIU Xia, WANG Jian-tao, ZHANG Meng, <i>et al.</i> (1590)
Effects of Different Temperatures Biochar on Adsorption of Pb(II) on Variable Charge Soils	JIANG Tian-yu, JIANG Jun, XU Ren-kou, <i>et al.</i> (1598)
Preparation and Performance Investigation of <i>Trichoderma viride</i> -Modified Corn Stalk as Sorbent Materials for Oil Spills	LAN Zhou-lin, PENG Dan, GUO Chu-ling, <i>et al.</i> (1605)
Removal of PO ₄ ³⁻ from Solution, Wastewater and Seawater by Modification and Granulation Magnesium and Aluminium Layered Double Hydroxide	XING Kun, WANG Hai-zeng (1611)
Influence of Carboxylic Carbon Nanotube Supported Platinum Catalyst on Cathode Oxygen Reduction Performance of MFC	TU Li-xing, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1617)
Flue Gas Desulfurization by a Novel Biomass Activated Carbon	LIU Jie-ling, TANG Zheng-guang, CHEN Jie, <i>et al.</i> (1623)
Method for Grading Industrial Sectors in Energy Consumption and Its Application	MAO Jian-su, MA Lan (1628)
Dynamics and Environmental Load of Food Carbon Consumption During Urbanization: A Case Study of Xiamen City, China	YAN Zhen, CUI Sheng-hui, LI Gui-lin, <i>et al.</i> (1636)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年4月15日 34卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 4 Apr. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行