

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201204180553

王慧娜, 赵小锋, 唐立娜, 崔胜辉, 李桂林. 城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例. 生态学报, 2013, 33(14): 4495-4504.

Wang H N, Zhao X F, Tang L N, Cui S H, Li G L. Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4495-4504.

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷 ——以厦门市为例

王慧娜^{1,2}, 赵小锋^{1,2,*}, 唐立娜^{1,2}, 崔胜辉^{1,2}, 李桂林^{1,2}

(1. 中国科学院城市环境与健康重点实验室, 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021;

2. 厦门市城市代谢重点实验室, 厦门 361021)

摘要:城市磷代谢不但关系到居民食品安全,还影响到城市生态系统的环境质量。快速的城市化进程及由此带来的居民生活水平的提高,会改变食物消费的数量、质量和结构,从而对城市磷代谢产生重要影响。分析了 1988—2010 年厦门市经食物消费进入城市系统的磷素变化动态,在此基础上对人均食物磷消费量与相关社会经济因子进行了 Spearman 相关分析,并计算了居民食物磷素消费的环境负荷。研究表明:(1)随着厦门城市化进程的推进,食物磷素消费总量波动上升;人均食物磷素消费量呈 M 型变化,两个峰值分别出现在 1998 年和 2003 年;高磷含量食物如奶制品、水产品,在人均食物磷素消费量中所占比例剧增,分别由 0.3% 和 6.8% 上升至 14.9% 和 15.5%。(2)人均粮食磷素消费量与恩格尔系数、平均家庭人口数呈高度正相关,与人均可支配收入、食物价格指数以及具有大学学历以上人口比重呈高度负相关;而植物油、瓜果、畜禽肉、蛋类、奶类和水产品磷素消费量则与粮食所呈现的相关性相反。(3)随着食物磷素消费总量的增加,磷素的环境负荷总量也呈剧增趋势,尤其进入土壤的磷素量剧烈上升,所占比例由 59.7% 增至 85.1%,这可能与禁磷措施的实行、污水处理率的提高、处理工艺的改进等有关。

关键词:城市居民;食物消费;磷素流动;环境负荷;厦门市

Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City

WANG Huina^{1,2}, ZHAO Xiaofeng^{1,2,*}, TANG Lina^{1,2}, CUI Shenghui^{1,2}, LI Guilin^{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: Urban phosphorus metabolism is of particular importance due to the global scarcity of phosphorus, food security of residents, and potential impacts on urban environment and peri-urban ecosystems. The world is rapidly urbanizing with significant changes in living standards, including the quantity, quality and structure of daily food consumed. As a result, urban phosphorus metabolism through food consumption, which is an important process of the metabolism, has been significantly impacted.

The purpose of this study is to analyze the variation in food phosphorus consumption by Xiamen residents, its environmental loads in 1988—2010, and to examine the associated economic and social factors by using the Spearman correlation analysis. The key stocks and flows of phosphorus through food consumption were explored using a material flow analysis (MFA) approach to develop a conceptual model of phosphorus flow for urban food consumption.

The results showed that there was a fluctuating growth in the total food phosphorus consumption, reached 1,128.88 t

基金项目:厦门市科技计划项目(3502Z20101015);国家自然科学基金项目(40901218);科技部国际合作项目(2009DFB90120);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-453)

收稿日期:2012-04-18; **修订日期:**2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xfzhao@iue.ac.cn

in 2010 because of the resident population boom; and the dynamic change in per capita phosphorus consumption varied between 315 g and 380 g, showed an M-shape with the two modes in 1998 and 2003. In addition, high phosphorus food increased sharply. For example, dairy products and aquatic products accounted for 0.3% and 6.8% of the per capita phosphorus consumption, respectively, in 1988, but the proportion reached 14.9% and 15.5%, respectively, in 2010.

The results of the correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between per capita phosphorus consumption in grain and the Engel coefficient, as well as the average number of people in the family. However, there was a significant negative correlation with per capita disposable income, the food price index and the proportion of college graduates. The correlation between per capita phosphorus consumption in other kinds of food, such as plant oil, fruits, meat, eggs, dairy products and aquatic products, and these factors was opposite. The correlations were significant negative between these kinds of food and the former group of socio-economic factors, but with the latter group of socio-economic factors the correlations were significant positive. The variation of food phosphorus consumption was not significantly correlated with these socio-economic factors, so these socio-economic factors mainly exerted their influence on per capita phosphorus consumption in all kinds of food.

As the total food phosphorus consumption increased, the environmental load of phosphorus from food leaped, the value in 2010 tripled over that in 1991. The proportion of phosphorus in the soil significantly increased from 59.7% to 85.1%, which partly due to a growing amount of kitchen waste and the landfilled sludge. Since the phosphorus mainly remained in soil and water, the proportion of phosphorus in the water decreased accordingly. Other factors which may have influenced the results are including a prohibition of phosphorus on detergents, and improvements in wastewater treatment. Thus, it has become the most important mission to develop and implement efficient strategies to facilitate phosphorus recycling. Relevant solutions for improving phosphorus recycling efficiency should be studied in the future to establish a strong coordination between urban and peri-urban areas for nutrient recycling to attain sustainable development.

Key Words: urban residents; food consumption; phosphorus flow; environmental load; Xiamen City

磷代谢是生态系统中重要的元素代谢之一^[1-2]。城市生态系统中磷素流动数量和模式的变化,不但关系到居民食品安全,还影响到城郊生态系统的环境质量,更可能导致城市土壤和水体环境的富营养化^[3]。食物消费是城市物质代谢的重要环节之一,其中磷代谢过程和机制得到了广泛的关注。例如 Farge 等根据食物消费数据研究曼谷城市养分流动平衡,发现磷素输入输出不平衡,41%的磷素通过水体流失^[4];Neset 等分析了瑞典 Linköping 城户均食物生产和消费系统中磷素量增加的原因,发现主要是由动物性食品的生产和化肥的使用引起的^[5];Fissore 等研究 Minneapolis-Saint Paul 大都市区的磷代谢,发现绝大部分的磷素输入受居民食物消费、洗涤剂使用和宠物食物消费影响^[6]。国内相关研究还相对较少,例如李桂林等分析了 1985—2006 年中国城市食物消费引起的磷代谢特征及其与收入水平的关系^[3];乔敏等分析了北京和天津 2008 年的城市食物消费磷素流动过程并指出磷素的循环利用率偏低^[7]。但综合分析城市磷代谢的社会经济影响因素及环境负荷的研究尚不多见。

20 世纪 80 年代以来,中国城市化进程飞速发展,城市居民生活条件和消费水平不断提高,特别是膳食结构的变化,对城市的物质流动模式产生了重要影响,给生态环境带来了巨大的压力。因此,揭示城市化过程中食物消费引起的元素代谢变化规律及其影响因素成为改善城市生态环境的必然要求。本研究利用统计数据、调查数据和文献资料,采用物质流分析的方法,对厦门市 1988—2010 年居民食物磷素流动特征及其社会经济驱动因子进行了分析,并进一步对由磷素消费变化造成的环境负荷进行了探讨。

1 研究区

厦门地处福建省东南部九龙江入海处,西部与漳州毗邻,北接泉州,东南与台湾本岛和澎湖列岛隔海相望,由思明、湖里、集美、海沧、同安和翔安 6 个区组成,陆地面积 1565 km²,海域面积 390 km²^[8]。自 1980 年

10 月国务院批准成为经济特区以来,厦门已由过去社会封闭、经济基础薄弱的海防前沿海岛小城变成一个基础设施齐全、内外交流活跃、综合实力增强的现代化港口风景城市。快速的城市化进程对厦门社会经济和生态环境产生了深远的影响^[9-10],1981 年厦门的建成区面积仅为 12 km²,2010 年已扩张至 230 km²;常住人口激增至 353.1 万。2010 年的国民生产总值(GDP)增速高达 15.1%,人均 GDP 达到 10000 美元,城镇居民人均可支配收入 29000 元,农民人均纯收入首次突破 10000 元。在经济快速增长的同时,厦门市居民食物消费总量由 1988 年的 34.17 万 t 逐步增至 2010 年的 54.30 万 t,恩格尔系数(食品支出总额占个人消费支出总额的比重)则由 1988 年的 65.0% 下降到 2010 年的 24.9%^[11]。

2 研究方法

2.1 数据来源

文中涉及的主要数据来自于 1988—2010 年的《厦门经济特区年鉴》^[11]、《福建统计年鉴》^[12],以及厦门市环境保护局调研获取的《厦门市环境统计及城考资料汇编》资料。同时,为使分析计算中所用的指标参数等具有较高的可信度和准确度,通过对大量文献资料的整理汇总,得到了计算所需的相关参数值。

2.2 物质流分析

物质流分析(MFA)是指在一定时空范围内关于特定系统的物质流动和贮存的系统性分析^[13],主要涉及物质流动的源、路径及汇。根据物质守恒定律,物质流分析的结果总是能通过其所有的输入、贮存及输出过程来达到最终的物质平衡。正是物质流分析的这一显著特征,使之成为资源、废弃物和环境的管理提供了方法学上的决策支持工具^[14]。本文采用物质流分析法,简化物质守恒定律为“输入=输出”,对经居民食物消费进入系统的磷素流动的途径和通量进行分析计算。

2.3 食物磷量的计算

食物中磷量公式为:

$$W_q = \sum_{i=1}^n w_{qi} \quad w_{qi} = w_i \times q_i$$

式中, W_q 为消费食物的总磷量, w_{qi} 为食物类型 i 的消费总磷量; w_i 为食物类型 i 的消费量, q_i 为食物类型 i 的磷含量,不同食物类型的磷含量见表 1^[15]。

表 1 不同食物磷含量

Table 1 Phosphorus content in food

食物种类 Items	大米 Rice	小麦 Wheat	玉米 Corn	谷类 Grain	薯类 Potato	猪肉 Pork	牛肉 Beef	羊肉 Mutton
质量分数/(g/g) Content	0.001419	0.001434	0.001695	0.001433	0.000628	0.001571	0.001896	0.001672
食物种类 Items	畜肉 Meat	禽肉 Poultry	蛋类 Egg	水产品 Aquatic product	蔬菜 Vegetable	水果 Fruit	乳制品 Dairy Product	植物油 Plant oil
质量分数/(g/g) Content	0.001756	0.001543	0.001793	0.002556	0.000425	0.000210	0.003598	0.000087

2.4 食物磷素消费造成的环境磷负荷计算

采用物质流分析法,简化物质守恒定律为“输入=输出”,对经居民食物消费进入系统的磷素流动的途径和通量进行分析,得到如图 1 所示的城市食物消费磷代谢概念模型。食物磷素消费造成的环境负荷指的是最终进入大气、水体、土壤中的磷素含量。其中大气中磷含量相对较少,并且由于气态化合物 PH_3 在潮湿空气中不稳定,即磷的大气沉降、地表挥发过程不显著,因而磷经由大气圈与土壤、水体的循环通量几乎可以忽略不计^[16]。在本文的计算中,城镇居民粪尿按全部进入管道污水处理,农村居民粪尿按全部还田处理,各环节具体计算公式如表 2 所示,计算参数见表 3。

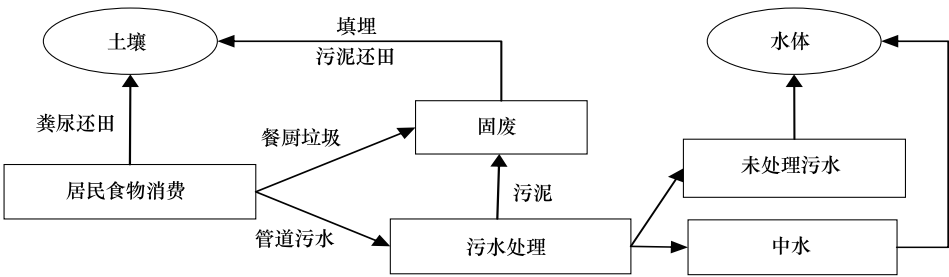


图1 城市食物消费磷代谢概念模型

Fig.1 Conceptual model of phosphorus flow for urban food consumption

表2 磷素流动计算公式

Table 2 Calculation formulas of Phosphorus flows

项目 Items	计算公式 Formulas
总粪尿磷量 Total phosphorus of human manure	总粪尿磷量=常住人口数×人均每天粪尿磷量×365
农村粪尿磷量 Rural phosphorus of human manure	农村粪尿磷量=农村人口数×人均每天粪尿磷量×365
城镇粪尿磷量 Urban phosphorus of human manure	城镇粪尿磷量=总粪尿磷量-农村粪尿磷量
餐厨垃圾磷量 Phosphorus of kitchen waste	餐厨垃圾磷量=餐厨垃圾量×餐厨垃圾含磷量
污水总磷量 Total phosphorus of sewage	污水总磷量=生活污水×未处理污水磷浓度
未处理污水磷量 Phosphorus of untreated sewage	未处理污水磷量=生活污水×(1-污水处理率)×未处理污水磷浓度
污泥磷量 Phosphorus of sludge	污泥磷量=生活污水×污水处理率×(未处理污水磷浓度-排放允许浓度)
中水磷量 Phosphorus of reclaimed water	中水磷量=污水总磷量-未处理污水磷量-污泥磷量
污水中食物源磷量 Food phosphorus of sewage	污水中食物源磷量=污水总磷量×排泄物磷量占污水总磷的比例
进入水体磷量 Phosphorus loading of water	进入水体磷量=Σ各环节进入水体磷量
进入土壤磷量 Phosphorus loading of soil	进入土壤磷量=Σ各环节进入土壤磷量

表3 磷素流动计算参数

Table 3 Calculation parameters of Phosphorus flows

参数 Parameters	单位 Unit	数值 Value	资助来源 Source
人均每天粪尿磷量 Phosphorus content in human manure per capita every day	mg	825	[17]
餐厨垃圾含磷量 Phosphorus content in kitchen waste	%	0.05	[18]
污水平均密度 Mean density of sewage	kg/m ³	1000	[19]
未处理污水磷浓度 Phosphorus concentration of untreated sewage	mg/L	8	[20]
排放允许磷浓度 Permissible effluent phosphorus concentration	mg/L	1	[21]
排泄物磷量占污水总磷的比例 Ratio of excreta phosphorus to the total effluent phosphorus	%	75	[22]

3 结果与分析

3.1 居民食物消费变化

厦门市居民1988—2010年食物消费总量变化如图2所示。2009年之前,随着人口数量的稳步增长,居民食物消费总量基本呈波动上升趋势,由1988年的49.34万t增至2009年的80.75万t。由于常住人口数激增100多万,使得2010年较2009年的食物消费总量增加了近32%,达到106.36万t。

人均食物消费总量变化如图3所示,1988—1997年间相对稳定,保持在320 kg·人⁻¹·a⁻¹左右;1998年达到357.01 kg·人⁻¹·a⁻¹后下降,在2003年增至360.09 kg·人⁻¹·a⁻¹,随后的年份总体呈下降趋势,2010年比1988年下降了5%。

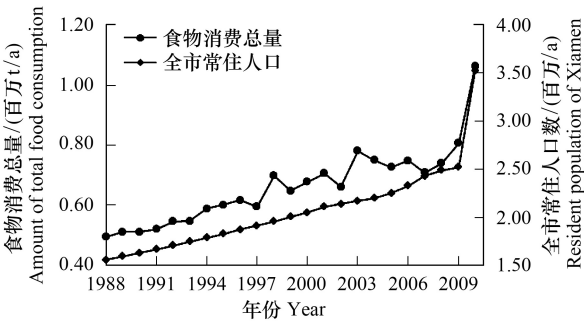


图2 1988—2010年厦门市居民食物消费总量变化

Fig. 2 Dynamics of food consumption in Xiamen from 1988 to 2010

在食物消费结构方面,这 23 年中蔬菜、蛋类、油类变化相对稳定,肉类、瓜果、水产品的消费量则基本呈上升趋势,奶类的消费量在 2006 年之后开始增幅剧烈。图 4 给出了厦门市居民人均食物消费结构的变化,除粮食消费比例明显减少以及蔬菜消费比例基本稳定外,其他类别食物的消费比例均有不同程度的增加,其中较为明显的是瓜果和肉类,比例由 3% 和 6% 增至 14%。可见,厦门市居民食物消费模式由“以粮食和蔬菜为主”向“以粮食、肉类、蔬菜瓜果均衡化”转变。

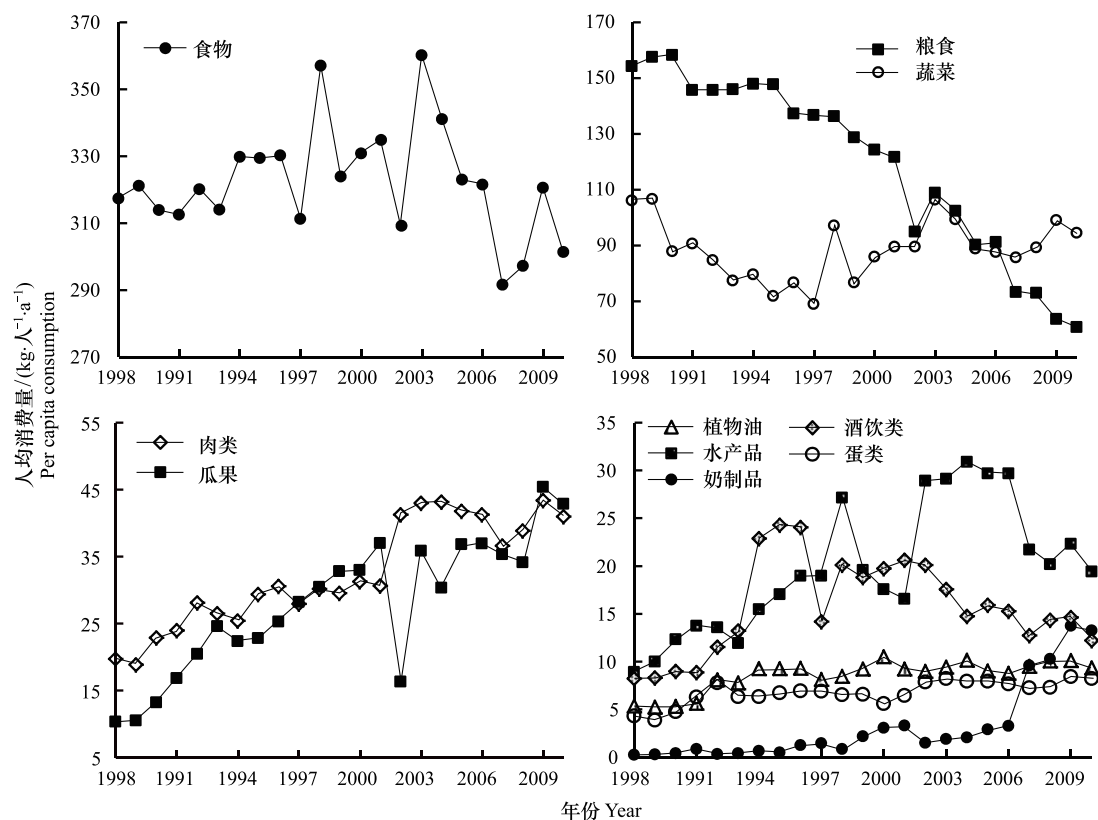


图 3 1988—2010 年厦门市居民人均食物消费量变化特征

Fig. 3 Dynamics of per capita food consumption in Xiamen from 1988 to 2010

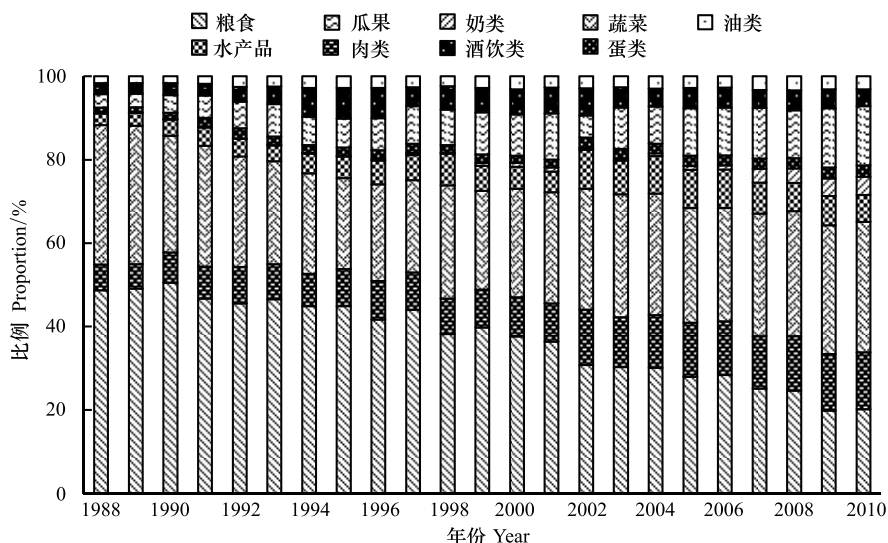


图 4 1988—2010 年厦门市居民人均食物消费结构变化

Fig. 4 Structural dynamics of per capita food consumption in Xiamen from 1988 to 2010

3.2 居民食物磷素消费变化

图5所示为1988—2010年厦门市居民食物磷素总量和人均消费量的变化情况。磷素消费总量的变化趋势与图2所示的食物消费总量变化趋势基本相似。2009年前磷素消费总量呈波动攀升,由1988年的519.97 t增至2009年的857.43 t;2010年的磷素消费总量则激增至1128.88 t。人均食物磷素消费量呈M型变化趋势,1998年和2003年的消费量是两个峰值,1998年前及1999年至2002年间相对稳定,维持在 $345 \text{ g} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右,2003年以后基本呈波动性的下降。与图3所示的人均食物消费量变化趋势相似,由此可见食物消费量对食物磷素的消费有直接的影响。在人均磷消费量减少的前提下,全市居民磷消费量仍然激增,由此说明2010年的人口激增对居民食物磷素消费总量产生了决定性的影响。

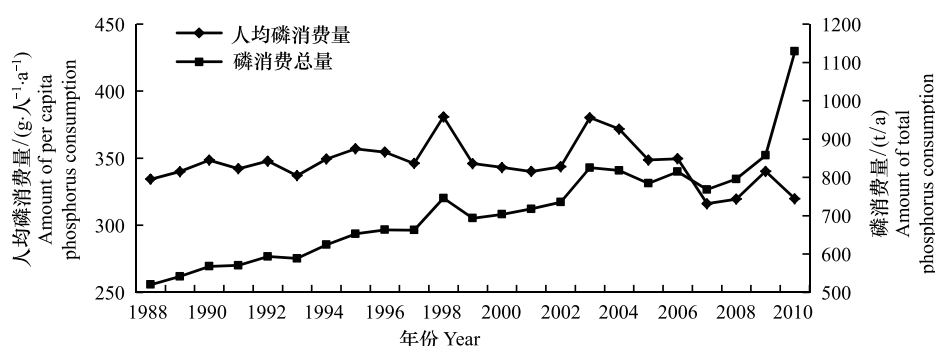


图5 1988—2010年厦门市居民食物磷素消费量变化

Fig. 5 Dynamics of food phosphorus consumption in Xiamen from 1988 to 2010

图6为厦门市居民食物磷素消费的结构变化,从图中可知,这23年中,奶制品、水产品作为高磷含量食物,在人均食物磷素消费量中所占比例分别由0.3%和6.8%上升至14.9%和15.5%,尤其是奶制品消费量的增加使其在磷素消费中所占比例明显升高。因此食物消费结构的改变对食物磷素消费也有较大影响。例如2001年和2002年,在人均食物消费量减少的情况下磷素消费量仍有增加,分析食物消费结构情况可知,肉类、水产品等含磷量较高的食物在食物消费中的增加是人均磷素消费量增加的根本原因。

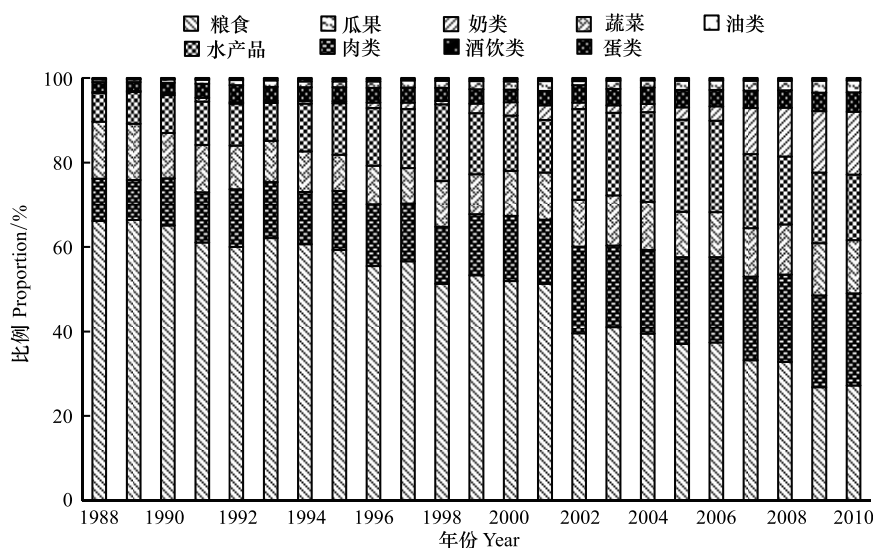


图6 1988—2010年厦门市居民人均食物磷素消费结构变化

Fig. 6 Structural dynamics of per capita food phosphorus consumption in Xiamen from 1988 to 2010

3.3 居民食物磷素消费与社会经济因子的关系

食物消费是人类最基本的消费行为,居民食物消费量、消费模式等是受社会经济因素影响的。本文选取

人均可支配收入、恩格尔系数、食物价格指数,以及具有大学程度(大专及以上)的人口比重、平均家庭人口数等社会经济因子,利用 1988—2010 年厦门市相关统计数据 and SPSS 16.0 软件进行 Spearman 相关性分析,对厦门市人均食物磷素消费变化相关的驱动因子进行探讨。

由表 4 可知,居民人均食物磷素消费量与各经济、社会因子的相关性不显著,因此进一步将各类食物磷素消费与所选取的社会经济因子进行相关分析。结果表明,除蔬菜和酒饮类外,其余各类均与各经济社会因子有较高的相关性。人均粮食磷素消费与恩格尔系数、平均家庭人口数呈正相关关系,即居民粮食磷素消费量随两者的增长而增长;与人均可支配收入、食物价格指数、具有大学程度人口比重表现出负相关关系。植物油、瓜果、畜禽肉、蛋类、奶类、水产品的人均磷素消费量与各因子的相关关系恰恰与粮食相反。由此推断,正由于这两组食物类别与社会经济因子之间相反的相关性产生的抵消作用导致人均食物磷素消费量与各因子相关性不显著。

表 4 厦门市居民人均食物磷素消费量与各社会经济因素相关性
Table 4 Correlation coefficients between per capita food phosphorus consumption and socio-economic factors

	恩格尔系数 Engel coefficient	人均可支配收入 Per capita disposable income	食物价格指数 Food price index	大学人口比重 Proportion of college graduates	平均家庭人口数 Average number of family members
人均总量 Per capita	0.115	- 0.098	- 0.010	- 0.117	0.205
粮食 Grains	0.971 **	- 0.974 **	- 0.727 **	- 0.950 **	0.950 **
植物油 Plant oil	- 0.684 **	0.761 **	0.667 **	0.673 **	- 0.728 **
瓜果 Fruits	- 0.856 **	0.871 **	0.715 **	0.838 **	- 0.827 **
畜禽肉 Meat	- 0.880 **	0.906 **	0.630 **	0.876 **	- 0.879 **
蛋类 Eggs	- 0.765 **	0.781 **	0.619 **	0.744 **	- 0.729 **
奶类 Dairy products	- 0.910 **	0.940 **	0.739 **	0.917 **	- 0.902 **
水产品 Aquatic products	- 0.795 **	0.808 **	0.606 **	0.797 **	- 0.760 **
酒饮类 Drinks	- 0.186	0.251	0.341	0.148	- 0.111
蔬菜 Vegetable	- 0.101	0.133	- 0.202	0.141	- 0.375

** 表示其显著性水平为≤1%; * 表示其显著性水平为≤5%

3.4 食物磷素消费造成的环境负荷

由食物消费进入城市系统的磷素输出的途径包括进入水体环境、土壤环境、人体吸收、加工损失和其他。人体吸收和其它数量较小故忽略不计,在此主要讨论进入水体环境、土壤环境食物磷素数量的变化。由于厦门市统计年鉴缺少 1988 年至 1990 年的年污水排放量、处理量等数据,故只统计了 1991—2010 年的基础数据,经计算得到厦门市食物磷素造成的环境负荷变化趋势如图 7。进入环境的磷素总量随居民食物磷素消费总量的增加而增加,20 年间环境磷负荷总量增加近两倍,主要是进入土壤环境磷素量剧烈增加,所占环境总负荷比例由 59.7% 增至 85.1%。

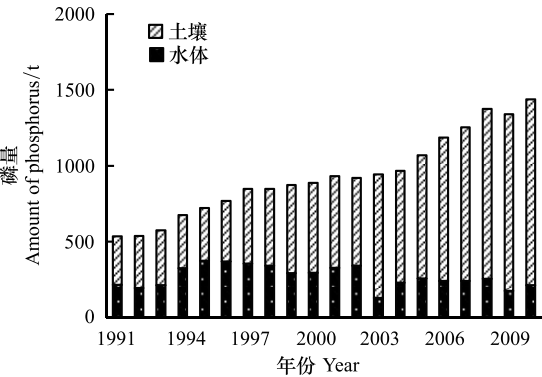


图 7 厦门市食物磷素消费造成的环境磷素负荷

Fig. 7 Environmental loads of food phosphorus consumption

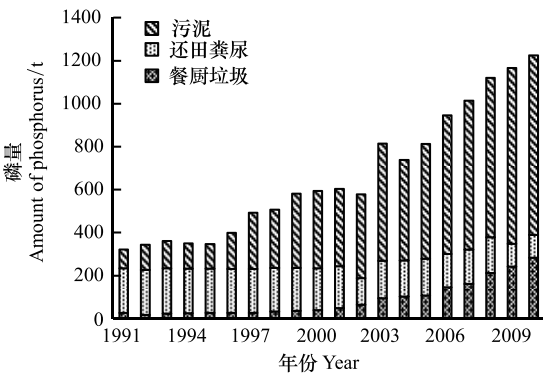


图 8 厦门市食物磷素消费造成的土壤环境磷素负荷

Fig. 8 Soil environmental loads of food phosphorus consumption

进入水体环境的磷素主要来源于生活污水中人体排泄的部分以及厨房废水。图 7 显示 2002 年之后进入水体的磷素量明显的减少,2010 年进入水体的磷素仅占总量的 14.88%,这很可能与厦门市 2000 年开始禁止销售、使用含磷洗涤剂有直接关系。还可能与污水处理率的提高、处理工艺的改进等有关,使得原本进入水体的磷素转而从土壤环境进行负荷。

进入土壤环境的磷素则主要来源于餐厨垃圾、农村居民粪尿还田以及厨房废水和人体排泄产生的污水经处理产生的污泥填埋。图 8 为进入土壤环境的磷素组成,其增长主要是由污泥填埋的磷量明显增加引起的,由 1991 年的 86.26 t 激增至 2010 年的 834.37 t。据厦门市市容环卫统计,2000 年厦门市人均生活垃圾量为 $215.3 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,2009 年增长至 $414.3 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$;在人均餐厨垃圾量增长的同时,厦门市人口规模也急剧增长,导致厦门市餐厨垃圾总量日趋巨大。餐厨垃圾的填埋量的增长对土壤磷素的增加有显著影响,1991 年所占比例仅为 8%,而 2010 年则占土壤负荷磷总量的 23%。这表明随着经济的发展,人民生活水平的提高,餐厨垃圾产生量剧增而处理能力不足,导致了土壤环境负荷的加重。而城镇人口比例的增加和污水管道覆盖率的提升使得农村粪尿还田的磷量逐年递减,2010 年还田的磷量仅是 1991 年的一半。

4 讨论

4.1 居民食物磷素消费随城市社会经济因素变化的原因

城市居民食物消费受到各种社会经济因素的影响,包括教育程度^[23]、食物消费支出、恩格尔系数等^[24]。居民食物消费的元素代谢也与这些因子密切相关,例如罗婷文等通过对北京市家庭食物碳氮消费的分析发现,家庭规模与人均食物碳氮消费呈负相关,收入与之呈正相关^[25]。

本研究中,人均可支配收入、恩格尔系数、食物价格指数是影响食物磷素消费的经济因素。人均可支配收入、食物价格指数与人均粮食磷素消费呈负相关,恩格尔系数与之呈正相关,即收入水平越高、食物价格指数上升或恩格尔系数降低,人均粮食磷素消费量减少。植物油、瓜果、畜禽肉、蛋类、奶类、水产品的人均磷素消费量与各经济因子的相关关系则恰恰相反。各经济因子内部也存在较高的相关性,经分析食物价格指数与人均可支配收入的相关系数是 0.789,恩格尔系数与之的相关系数是-0.975。可见,随着城市化进程的推进,经济水平的提高,食物消费支出占总支出的比例趋于下降,居民食物磷素消费模式逐渐由粮食主导型转为多元均衡型,粮食摄入量明显减少,动物性食物(奶制品、肉类、水产品)磷素消费比例逐年增加。

受教育程度和家庭规模是影响食物磷素消费的社会因素。分析发现,具有大学程度人口比重与人均可支配收入呈显著正相关,相关系数为 0.965;平均家庭人口数与之呈显著负相关,相关系数为-0.977。因此,二者都对食物磷素消费有重要影响。本研究证实了这一点,发现随着厦门市受高等教育人口的增加,人均粮食磷素消费下降,而人均植物油、瓜果、畜禽肉、蛋类、奶制品、水产品磷素消费量增加,尤其水产品、奶制品等高磷含量的食物更成为营养选择,所占比重增加很快。而家庭规模对于食物消费则具有相反的作用,近 20 年来,厦门市平均家庭人口数由 4.10 人/户减少到 2.42 人/户^[11],随着家庭规模缩小,人均收入提高,人均粮食磷素消费量减少,而植物油、瓜果、畜禽肉、蛋类、奶类、水产品的人均磷素消费量呈增加趋势。

4.2 城镇化对食物磷素环境负荷的影响

厦门市食物消费引起磷素的环境负荷主要的输出途径是土壤和水体。随着城镇化水平的提高,人口的增加和食物消费量的增加,使得进入环境的磷素总量随之增加,其中进入水体的磷素占环境总负荷量的比例逐年显著递减,而进入土壤环境磷素量剧烈增加。导致这一变化的原因主要包括相关政策的实施,基础设施的完善,尤其是污水处理厂的建立、脱磷设施的完备以及排放标准的提高。尤其 1999 年颁布的《厦门市禁止销售、使用含磷洗涤剂管理规定》,对降低厦门海域和其他地表水的磷污染起到了重要作用。

要减少厦门市食物消费磷素的环境负荷,可以从以下几个方面考虑:

(1) 提高污泥还田率,减少填埋量。厦门市对污泥的处置方式主要是还田和填埋。由于污泥还田可以充分利用污泥中含有的大量有机物、氮、磷等植物营养物质,应将其作为污泥处置的首选措施,尽量减少土地填埋,大力提倡污泥资源化,开展城市污泥无害化堆肥处置。

(2) 餐厨垃圾的资源化和减量化。餐厨垃圾不仅可以通过好氧堆肥和厌氧消化等方式实现肥料化,还可以经过发酵等工艺进而饲料化。此外,应提倡居民合理适量地进行食物消费,避免造成不必要的食物浪费,从而产生过量餐厨垃圾。

(3) 提高农村粪尿利用率。应提倡农村粪尿入池发酵,推广沼气新型能源,综合利用沼液、沼渣取代农药进行环保灌溉,同时减少直接填埋引起的土壤磷素负荷加重。

(4) 由于奶制品、肉类等食品产生富营养化的倾向远高于粮食、蔬菜等植物性食物^[26],综合考虑食物消费对人体健康和生态环境的影响,应提倡居民转变食物消费模式,均衡动、植物性食物消费,应保证既满足个体营养需求,又能减少环境污染,达到可持续消费的目的。

4.3 城市食物消费磷代谢概念模型

本文的城市食物消费磷代谢概念模型是借鉴国内外相关研究,结合厦门市磷素流动特点所构建的,描述的是磷素经居民食物消费在城市环境中流动的宏观特征和城市化效应,因此对经过代谢进入土壤和地表水体之后磷元素的二次迁移和年际积累不予考虑,赋存形态也未加区分。使用该模型分析获得的结论和规律与国内外相关文献基本一致,证明了模型的可靠性和适用性。然而不同城市的食物磷素代谢过程不尽相同,如餐厨垃圾处理方式、污水处理厂尾水污泥去向等环节可能存在差异,因此模型在推广至其他城市时需要做局部的调整。另外,由于缺少相应的统计资料,居民在外就餐的磷元素代谢是本文模型尚未考虑的一部分。这部分研究需要进行大量的问卷调查,也将是今后研究的重要内容之一。

5 结论

本研究利用统计数据、调研数据、文献资料,运用物质流分析法,对厦门市 1988—2010 年居民食物磷素消费特征、影响因子及其环境负荷进行了综合分析。厦门市磷素消费总量由 1988 年的 519.97 t 增加到 2010 年的 1128.88 t;人均每年磷素消费量在 315—380 g 之间波动,呈 M 型变化。消费结构发生较大改变,尤其是高磷含量的奶制品,其消费量在 2006 年后攀升,肉类、水产品等的消费对磷素消费总量的影响也逐年增加。各社会经济因素对人均食物磷素消费总量的影响并不明显,但人均粮食磷素消费与恩格尔系数、平均家庭人口数呈正相关,与人均可支配收入、食物价格指数、具有大学程度人口比重呈负相关。植物油、瓜果、畜禽肉、蛋类、奶类、水产品的人均磷素消费量与各因子的相关关系则与粮食相反。2010 年由食物消费引起的环境磷负荷总量是 1991 年的近 3 倍,土壤和水体是主要的输出途径。其中造成环境磷负荷量增加的主要环节是污泥和餐厨垃圾的填埋。合理膳食、大力发展餐厨垃圾和污泥资源化是减少环境负荷、提高磷素利用率的主要途径。另外,由于相关的数据资料不够完善,对分析评价磷素流动的变化带来了一些困难,也对核算带来了不确定性。

References:

- [1] Liu Y, Chen J N. Substance flow analysis on phosphorus cycle in Dianchi Basin, China. *Environmental Science*, 2006, 27(8): 1549-1553.
- [2] Wu J N, Shi L. Phosphorus metabolism in industrial parks: a case study of Yixing economic development zone. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2397-2405.
- [3] Li G L, Bai X M, Yu S, Zhang H, Zhu Y G. Urban phosphorus metabolism through food consumption: the case of China. *Journal of Industrial Ecology*, doi: 10.1111/j.1530-9290.2011.00402.x.
- [4] Farge J, Magid J, Penning de Vries F W T. Urban nutrient balance for Bangkok. *Ecological Modelling*, 2001, 139(1): 63-74.
- [5] Neset T S S, Bader H P, Scheidegger R, Lohm U. The flow of phosphorus in food production and consumption-Linköping, Sweden, 1870—2000. *Science of the Total Environment*, 2008, 396(2/3): 111-120.
- [6] Fissore C, Baker L A, Hobbie S E, King J Y, Mcfadden J P, Nelson K C, Jakobsdottir I. Carbon, nitrogen, and phosphorus fluxes in household ecosystems in the Minneapolis-Saint Paul, Minnesota, urban region. *Ecological Application*, 2011, 21(3): 619-639.
- [7] Qiao M, Zheng Y M, Zhu Y G. Material flow analysis of phosphorus through food consumption in two megacities in northern China. *Chemosphere*, 2011, 84(6): 773-778.
- [8] Compilation Committee of China Ocean Yearbook. *China Ocean Yearbook 2007*. Beijing: Ocean Press, 2007.
- [9] Zhao X F, Huang J C, Ye H, Wang K, Qiu Q Y. Spatiotemporal changes of the urban heat island of a coastal city in the context of urbanisation.

- International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2010, 17(4): 311-316.
- [10] Zhao J Z, Dai D B, Lin T, Tang L N. Rapid urbanisation, ecological effects and sustainable city construction in Xiamen. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2010, 17(4): 271-272.
- [11] Editorial Board of Yearbook of Xiamen Special Economic Zone. Yearbook of Xiamen Special Economic Zone (1989—2011). Beijing: China Statistics Press, 1989-2011.
- [12] Editorial Board of Yearbook of Fujian Province. Yearbook of Fujian Province (1989—2011). Beijing: China Statistics Press, 1989-2011.
- [13] Fan Y P, Hu S Y, Chen D J, Li Y R, Shen J Z. The evolution of phosphorus metabolism model in China. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(9): 811-820.
- [14] Huang H P, Bi J, Zhang B, Li X M, Yang J, Shi L. A critical review of material flow analysis. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 368-379.
- [15] Yang Y X, Wang G Z, Pan X C. China Food Composition 2002. Beijing: Peking University Medical Press, 2002: 23-211.
- [16] Liu Y. Study on Phosphorus Societal Metabolism and Eutrophication Control Policy in China [D]. Beijing: Tsinghua University Environmental Science and Engineering, 2004: 39-40.
- [17] Gao Z H. Metabolism of calcium, phosphorus and magnesium. Chinese Journal of Medicine, 2002, 37(11): 6-7.
- [18] Le X Q, Zhang T Y. The probe of ecological pathway of refuse from urban sources. Journal of Hubei University: Natural Science, 1994, 16(2): 220-224.
- [19] Zhang C H, Wu R H, Zhuang Z Y, Li X, Wu X H, Sun D X. Parameter definition and measurement of the solid contaminant in untreated urban sewage. Renewable Energy, 2006, (4): 66-69.
- [20] BMEDI (Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute). Waternsupply and Drainage Design Handbook: Urban Drainage. 2nd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2006.
- [21] CMEP (Chinese Ministry of Environmental Protection). Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants (GB18918—2002). Beijing: Chinese Environmental Science Publishing, 2002: 5-5.
- [22] Wang H Y, Li J, Wang Y E, Hao H F. Research and evaluation on wastewater treatment capacity of septic tank. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2009, 28(1): 118-120.
- [23] Irala-Esteva J D, Grot M, Johansson L. A systematic review of socio-economic differences in food habits in Europe: consumption of fruit and vegetables. European Journal of Clinical Nutrition, 2000, 54(9): 706-714.
- [24] Li Z M. Change of Chinese inhabitant's food consumption and nutrition development in the last 50 years. Resources Science, 2007, 29(1): 27-35.
- [25] Luo T W, Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H, Zheng H. Dynamics of urban food-carbon consumption in Beijing households. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3252-3258.
- [26] Xue X B, Landis A E. Eutrophication potential of food consumption patterns. Environmental Science and Technology, 2010, 44(16): 6450-6456.

参考文献:

- [1] 刘毅, 陈吉宁. 滇池流域磷循环系统的物质流分析. 环境科学, 2006, 27(8): 1549-1553.
- [2] 武娟妮, 石磊. 工业园区磷代谢分析——以江苏宜兴经济开发区为例. 生态学报, 2010, 30(9): 2397-2405.
- [8] 中国海洋年鉴编纂委员会. 中国海洋年鉴 2007. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [11] 厦门市统计局. 厦门经济特区年鉴 (1989—2011). 北京: 中国统计出版社, 1989-2011.
- [12] 福建省统计局. 福建统计年鉴 (1989—2011). 北京: 中国统计出版社, 1989-2011.
- [14] 黄和平, 毕军, 张炳, 李祥妹, 杨洁, 石磊. 物质流分析研究述评. 生态学报, 2007, 27(1): 368-379.
- [15] 杨月欣, 王光正, 潘兴昌. 中国食物成分表 2002. 北京: 北京大学医学出版社, 2002: 23-211.
- [16] 刘毅. 中国磷代谢与水体富营养化控制政策研究 [D]. 北京: 清华大学环境科学与工程系, 2004: 39-40.
- [17] 高志红. 钙、磷、镁的代谢. 中国医刊, 2002, 37(11): 6-7.
- [18] 乐晓虬, 张廷毅. 城市生活垃圾生态去向的探讨. 湖北大学学报: 自然科学版, 1994, 16(2): 220-224.
- [19] 张承虎, 吴荣华, 庄兆意, 李鑫, 吴学慧, 孙德兴. 城市污水固态成分相关概念定义与参数测定. 可再生能源, 2006, (4): 66-69.
- [20] 北京市市政工程设计研究总院. 给水排水设计手册 (第 5 册): 城镇排水 (第二版). 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [21] 国家环境保护总局. 城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB18918—2002). 北京: 中国环境出版社, 2002: 5-5.
- [22] 王红燕, 李杰, 王亚娥, 郝火凡. 化粪池污水处理能力研究及其评价. 兰州交通大学学报, 2009, 28(1): 118-120.
- [24] 李哲敏. 近 50 年中国居民食物消费与营养发展的变化特点. 资源科学, 2007, 29(1): 27-35.
- [25] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 郑华. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态. 生态学报, 2005, 25(12): 3252-3258.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 骆世明

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元