

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

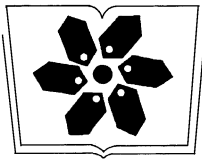
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **2012**

中国生态学会
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 32 卷 第 19 期 2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于 洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颞的形态差异	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	方 舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	谭向峰, 杜 宁, 葛秀丽, 等 (5998)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	王莉雯, 卫亚星 (6006)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	张 亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响	吕晋慧, 王 玄, 冯雁梦, 等 (6033)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	顾 韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	张 荣, 刘 彤 (6056)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	李 茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
H ₂ O ₂ 参与 AM 真菌与烟草共生过程	秦 华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
北京山区防护林优势树种分布与环境的的关系	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	熊 君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	黄 林, 王 峰, 周立江, 等 (6110)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	王树芹, 赖 娟, 赵秀兰 (6128)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO ₂ 排放量的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
.....	孙特生, 李 波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁 宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾 玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李 巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于 非, 王 吟, 王绍坤, 等 (6203)
专论与综述	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江 鑫, 赛 珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
研究简报	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋 敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)



封面图说: 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭(小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201109051298

于洋,崔胜辉,赵胜男,孟凡鑫,李飞.城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例.生态学报,2012,32(19):5953-5961.

Yu Y, Cui S H, Zhao S N, Meng F X, Li F. Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 5953-5961.

城市居民食物氮消费变化及其环境负荷 ——以厦门市为例

于 洋^{1,2}, 崔胜辉^{1,2,*}, 赵胜男^{1,2}, 孟凡鑫^{1,2}, 李 飞^{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: 食物消费是城市养分流动的重要环节, 以厦门市为例, 分析了 1988—2009 年居民食物氮素消费的变化特点, 分析与其变化相关的经济、社会因素, 并探讨了居民食物氮素消费变化所带来的环境负荷。研究结果表明, 厦门市人均食物氮消费量变化与食物消费量变化并不完全一致, 人均氮消费量 2000 年以前维持在 $3.29 \text{ kg N} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, 2000 年以后呈现波动性的增长, 2004 年达到最高值 $4.00 \text{ kg N} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 。厦门市食物氮素消费总量增长幅度较大, 由 1988 年的 0.54 万 t 增至 2009 年的 1.50 万 t。同时, 粮食在食物氮消费量中所占比例由 45.5% 下降到 15.9%。畜禽肉、奶制品所占比例分别由 25.0% 和 0.4% 上升至 29.8% 和 8.8%。通过将相关经济、社会因素与居民食物氮消费量进行相关性分析表明, 人均可支配收入、食物价格指数、具有大学学历以上人口比重均与其联系较为密切, 呈正相关; 恩格尔系数、平均家庭人口数与居民食物氮消费量呈负相关。通过选取 1988、1994、2001、2008 年分析居民食物氮素消费造成的环境氮负荷发现, 由其带来的环境氮负荷量由 3509.12t 增加至 7629.36t, 约 90% 的氮素进入了土壤和水体。其中, 进入土壤的氮素占进入环境氮总量的比例由 37% 增长到 60%, 进入水体的氮素比例由 57% 降至 35%。

关键词: 城市居民; 食物消费; 氮素流动; 环境负荷; 厦门市

Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen

YU Yang^{1,2}, CUI Shenghui^{1,2,*}, ZHAO Shengnan^{1,2}, MENG Fanxin^{1,2}, LI Fei^{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: Food consumption is an important process of urban nutrient metabolism. By taking Xiamen city for example, the changes of food nitrogen consumption during 1988—2009 years were analyzed. Then the associated economic and social driving factors and its environmental loading were researched. The results showed that changes of per capita food nitrogen consumption of Xiamen residents were not exactly the same with changes of per capita food consumption. Per capita nitrogen consumption maintained in 3.29 kg before the year 2000. However, there was a fluctuant growth after 2000, and per capita food nitrogen consumption reached a high value of 4.00 kg in 2004. The total food nitrogen consumption in Xiamen has grown rapidly, from $5400 \times 10^3 \text{ t}$ in 1988 to $15000 \times 10^3 \text{ t}$ in 2009. Meanwhile, the proportion of grain in the food nitrogen consumption decreased from 45.5% to 15.9%. On the contrary, poultry meat and dairy products increased from 25.0% and 0.4% to 29.8% and 8.8%, respectively. In addition, correlation analysis was adopted to find that the positive

基金项目: 厦门市科技计划项目 (3502Z20101015); 科技部国际合作项目 (2011DFB91710)

收稿日期: 2011-09-05; 修订日期: 2012-08-18

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

correlation existed between the per capita disposable incomes, food price index, proportion of population with college degree and per capita food nitrogen consumption. Meanwhile, there was a negative correlation between the Engel's coefficient, the average number of family members, and per capita food nitrogen consumption. Selecting the year of 1988, 1994, 2001 and 2008 to analyze the environmental loading of food nitrogen consumption, it was found that the environmental nitrogen loading increased from 3509.12 t in 1998 to 7629.36 t in 2008, and more than 90% of nitrogen came to the soil and water. During 1988 to 2008, the proportion of nitrogen which entered to the soil increased from 37% to 60%. Meanwhile, the proportion of nitrogen to the water reduced from 57% to 35%.

Key Words: urban residents; food consumption; nitrogen flow; environmental loading; Xiamen

食物消费是家庭消费的重要组成部分,由于社会发展和经济水平的提高,人们的消费需求不断增长,导致食物消费模式和营养状况也随之发生改变。自 20 世纪 80 年代以来,中国城市化进程逐渐加快,其导致的生活方式和饮食偏好等的改变主要表现在由主食消费为主转向主副食品替代,以及以植物性食物消费为主转变为动、植物性食物并重的食物消费与营养模式^[1-3]。同时,中国居民食物的消费也经历了从生存型到数量型、再到质量型的转变^[4-5]。

伴随食物的生产和消费,营养成分也通过食物在城市中流动。氮素作为人体必不可少的营养元素,是构成蛋白质、核酸等重要生命物质的基础,同时,也是造成水体富营养化、光化学烟雾、酸雨、气候变化的元素之一,人类向生态环境排放的过量氮素已成为全球面临的重大环境污染问题之一^[6-8]。由此可见,氮素在食物消费中的流动模式与数量,不仅影响人体的营养状况,还与生态环境密切相关。研究城市发展过程中食物氮消费的变化有利于把握城市氮素流动特点和规律,为城市氮素管理提供参考和依据,促进城市的健康发展。

目前,国内外已有学者从食品消费的角度探讨了国家、区域,以及城市尺度的氮素流动情况。Barles 对巴黎的食物消费和氮素流进行了计算,得出从 1801—1914 年,巴黎城市氮素输入增长了 3 倍;也有学者分别计算了印度农业生产、中国食物生产中的氮素流动情况,发现氮素利用效率较低^[9-11]。而国内学者则探讨了氮素区域之间的流动,以及中国城镇居民的氮素消费变化,得出我国区域之间氮素流动不平衡,随经济发展我国氮素需求量增大。^[12-13]。对于城市水平的长时间尺度食物氮素消费变化情况研究较少,且缺乏食物氮消费造成环境负荷的定量化研究。本文从家庭食物氮素消费的角度分析了 1988—2009 年厦门市城市发展过程中家庭食物氮素消费的变化情况,并分析家庭食物氮素消费变化造成的环境氮负荷,为居民合理膳食、减少家庭食物消费带来的不良环境影响提供科学依据,进而促进城市的可持续发展。

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 1565 km²,海域面积 390 km²。厦门市设 6 个行政区,本岛由思明区、湖里区构成,岛外包括海沧区、集美区、同安区、翔安区,共 21 个街道,15 个镇。

自 1980 以后,厦门市国民生产总值(GDP)年均增长率近 20%,进入 21 世纪后,经济保持平稳快速增长。与此同时,厦门市人口增长迅速,2008 年厦门市常住人口 249 万人,2010 年达到 275 万人,近六成人口居住于岛内。居民年人均收入增长迅速,由 1988 年的 2236 元增长到 2009 年的 36453 元,同时,人均食物消费支出占由生活消费支出的比重由 1988 年的 93.1% 下降到 2009 年的 41.3%^[14]

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

本文的研究数据主要来自 1988—2009 年的《厦门经济特区年鉴》^[14]、《福建统计年鉴》^[15],以厦门市居民人均食物消费量为基础计算食物氮消费量,利用 Windows Excel 2003 建立信息数据库,分析厦门市居民食物氮素消费变化情况。计算食物氮素消费造成环境氮负荷量所需参数包括厨余氮含量^[16]、人体排泄物氮含

量^[17]、肥料挥发率^[18]、污水处理氧化亚氮(N_2O)排放因子^[19]、污泥含水率^[20]、污泥氮含量^[21],所需数据包括厦门市污水氮去除率、污泥还田率等、粪便还田率,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。

2.2 食物氮量计算方法

食物中氮量公式为:

$$W_p = \sum_{i=1}^n w_{pi}$$

$$w_{pi} = w_i \times p_i$$

式中, W_p 为消费食物的总氮量, w_{pi} 为食物*i*的消费总氮量; w_i 为食物*i*的消费量, p_i 为食物*i*的氮含量,其值可根据食物蛋白质含量乘以折算系数0.16得出,不同食物的氮含量见表1^[20]。

表1 不同食物氮含量

Table 1 Nitrogen content in food

种类 Items	大米 Rice	面粉 Flour	玉米 Corn	其他谷物 Other grain	大豆 Soybean	薯类 Potato	猪肉 Pork	牛肉 Beef
氮含量 Nitrogen content/%	1.13	1.58	1.28	1.55	5.30	0.53	2.45	2.78
种类 Item	羊肉 Mutton	禽肉 Poultry	蛋类 Egg	水产品 Aquatic product	蔬菜 Vegetable	水果 Fruit	乳制品 Dairy Product	
氮含量 Nitrogen content/%	2.88	2.99	2.06	2.18	0.30	0.19	2.17	

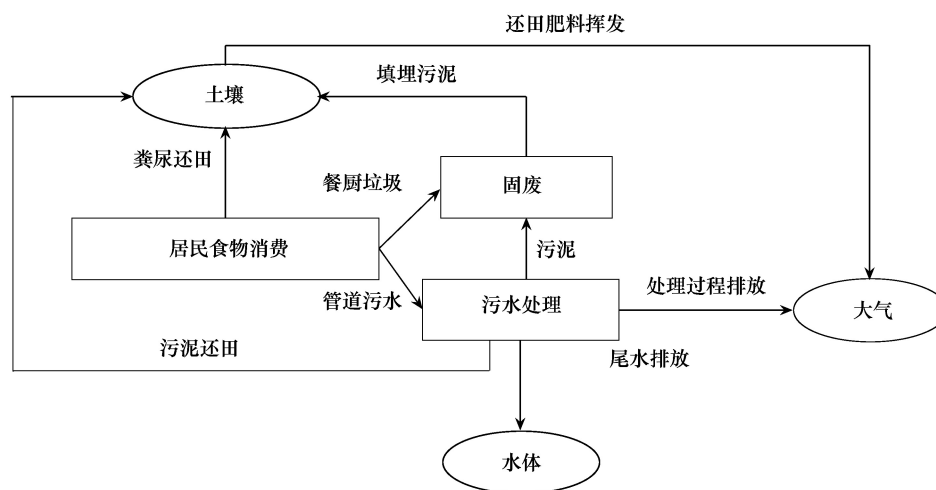


图1 食品氮素消费氮素流动过程图

Fig.1 Nitrogen flows in food nitrogen consumption

2.4 食物氮消费造成的环境氮负荷计算

计算食物氮素消费造成的环境氮负荷量,需根据氮素流动方向,以物料平衡原理为基础,综合分析进入大气、水体、土壤中的氮素量。食物氮素消费流动过程如图1所示,在本文的计算中,城镇居民粪尿以全部进入管道污水计算,农村居民粪尿以全部还田计算,各环节具体计算公式如表2所示,计算参数见表3。

3 结果与分析

3.1 厦门市居民食物消费变化

厦门市居民1988—2009年人均食物消费总量如图1所示,各类食物消费量变化情况如图2所示。由图2可以看出,1988—1998年间人均食物消费总量相对稳定,保持在 $315 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 左右,1999年以后增长幅度明显,2004年达到最高值 $379.38 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,随后的年份呈现不同程度的下降,2009年降至 $332.43 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

表 2 氮素流动计算公式
Table 2 Calculation formulas of nitrogen flows

项目 Items	计算公式 Formulas
人粪尿氮量 Nitrogen of human manure	粪尿氮量 = 人数 × 人均粪尿量 × 粪尿氮含量
厨余氮量 Nitrogen of kitchen waste	厨余氮量 = 厨余总量 × 厨余含氮量
污泥氮量 Nitrogen of sludge	污泥总氮量 = 进水量 × 污泥产生率 × (1 - 含水率) × 污泥含氮量
尾水氮量 Nitrogen of treated wastewater	尾水氮量 = 管道污水氮量 × (1 - 氮去除率)
还田挥发氮量 Nitrogen volatilized from manure	还田挥发氮量 = 还田肥料量 × 挥发率
污水处理气体排放氮量 Nitrogen emissions from sewage treatment	气体排放氮量 = 管道污水氮量 × N ₂ O 排放因子
进入大气氮量 Nitrogen loading of atmosphere	进入大气氮量 = Σ 各环节进入大气氮量
进入土壤氮量 Nitrogen loading of soil	进入土壤氮量 = Σ 各环节进入土壤氮量
进入水体氮量 Nitrogen loading of water	进入水体氮量 = Σ 各环节进入水体氮量

表 3 氮素流动计算参数
Table 3 Calculation parameters of nitrogen flows

参数 Parameters	单位 Unit	数值 Values	来源 Source
厨余氮含量 Nitrogen content in kitchen waste	%	3.0	[16]
人粪尿氮含量 Nitrogen content in human manure	kg 人 ⁻¹ a ⁻¹	3.83	[17]
肥料挥发率 Nitrogen volatilized rate from manure	%	24.5	[18]
N ₂ O 排放因子 N ₂ O emission factor	Kg N ₂ O/kg N	0.005	[19]
污泥含水率 Water ratio of sludge	%	96	[20]
污泥含氮量 Nitrogen content in sludge	g/kg	27.1	[21]

从图 3 得知,1988—2009 年厦门市居民的各类食物人均消费量发生了变化。厦门市居民消费的粮食作物主要为大米,1989 年,厦门市居民的大米人均消费量为 121.18 kg·人⁻¹·a⁻¹,2009 年下降至 48.83 kg·人⁻¹·a⁻¹,减少了近 57.9%。与此同时,畜禽肉、蔬菜、奶制品人均消费量都有不同程度的增长。畜禽肉人均消费量由 1988 年的 31.68 kg·人⁻¹·a⁻¹ 增长到 2009 年的 45.67 kg·人⁻¹·a⁻¹,蔬菜由 96.12 kg·人⁻¹·a⁻¹ 增长到 106.61 kg·人⁻¹·a⁻¹,即分别增长了 44.2% 和 10.9%。奶制品增长尤为显著,由 2.04 kg·人⁻¹·a⁻¹ 增长到 16.27 kg·人⁻¹·a⁻¹,增长了近 7 倍。

3.2 厦门市居民人均食物氮素消费和食物消费总氮量变化

厦门市居民人均食物氮素消费总量变化如图 4 所示,消费结构变化情况如图 5 所示。2000 年以前厦门市人均食物氮消费量相对稳定,维持在 3.29 kg N·人⁻¹·a⁻¹。2000 年以后,人均氮消费量呈现波动性的增长,2004 年达到最高值,为 4.00 kg N·人⁻¹·a⁻¹。与人均食物消费量的变化情况相比,人均食物氮消费量的变化与其并不完全一致,如 2002 和 2007 年二者呈现相反的变化,说明食物消费量对食物氮素消费并没有绝对的影响。而在奶制品、畜禽肉等高氮含量的食物消费量高的年份通常食物氮消费量也较高,说明食物消费模式的改变对食物氮消费量有一定影响。

另一方面,厦门市食物氮素消费总量增长幅度较大,1988 年食物氮素消费总量为 0.54 万 t,2009 年增至 1.50 万 t。这可能由于人均氮消费量与厦门市人口规模的共同增长所致。分析厦门市食物氮素消费结构可知,粮食在食物氮消费量中所占比例下降较为明显,由 45.5% 下降到 15.9%。相反,总体来看,畜禽肉、奶制品所占比例呈上升趋势,分别由 25.0% 和 0.4% 上升至 29.8% 和 8.8%。

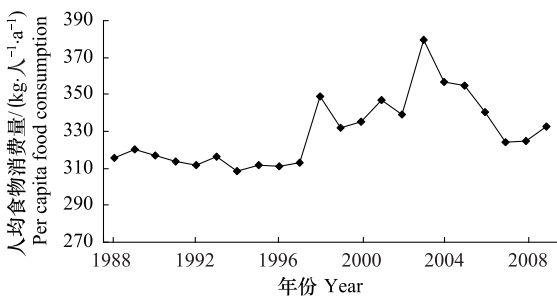


图 2 1988—2009 年厦门市居民人均年食物消费总量变化
Fig. 2 Totals of food consumption per capita per year of Xiamen residents

3.3 厦门市居民氮消费的影响因子

居民的食物消费量、消费模式等随着社会和经济的发展而发生转变。罗婷文等人对北京市家庭食物碳消费的研究发现,人均可支配收入、恩格尔系数、食物价格指数均与食物碳消费相关,国外也有学者研究发现受教育程度也与家庭食物消费联系紧密^[23-24],另外,家庭规模也与人均食物消费量有一定关系。因此,本文选取1988—2009年厦门市人均可支配收入、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、平均家庭人口数等与食物氮消费量有关的经济、社会因子,利用软件 SPSS 16.0 进行 Pearson 相关分析,研究厦门市人均食物氮消费动态的相关因子。

厦门市居民食物氮素消费与各经济、社会因子的相关性分析结果如表3所示,人均可支配收入、食物价格

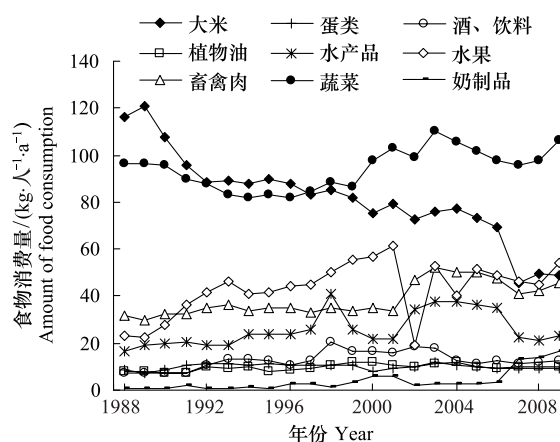


图3 1988—2009年厦门市居民各类食物人均年消费量变化

Fig.3 Variation of food consumption per capita per year of Xiamen residents

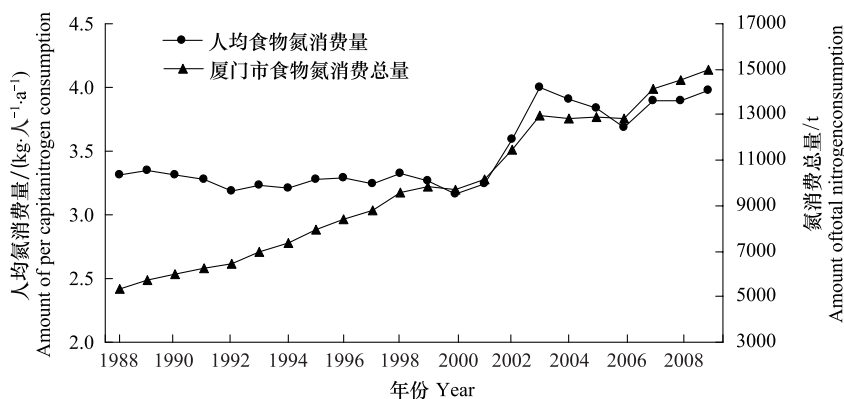


图4 1988—2009年厦门市居民食物氮消费量变化

Fig.4 Total food nitrogen consumption per capita per year of Xiamen residents

指数、具有大学程度(大专及以上)人口比重与食物氮素消费相关性较高,并呈正相关关系,即居民食物氮消费量随三者的增长而增长。恩格尔系数、平均家庭人口数与居民食物氮消费量表现出负相关性。由此推断,由于收入的提高和消费商品日趋多样,食物支出占总支出的比例逐渐减小,食物消费模式也不再受食物价格和食物消费支出的制约,动物性食品消费已越来越普遍,从而导致了氮消费量的增长。此外,社会教育水平的提高使人们在满足温饱后逐渐重视营养的供给与平衡,因此也一定程度上影响居民的食物氮消费量。另一方面,1988年以来,随着计划生育政策的推行,厦门市家庭规模逐渐缩小,平均家庭人口数由4.10人/户减少到3.16人/户^[14],这意味着家庭消费负担减小,食物消费更加自由,消费模式也相应改变,从而影响居民的人均食物氮消费量。

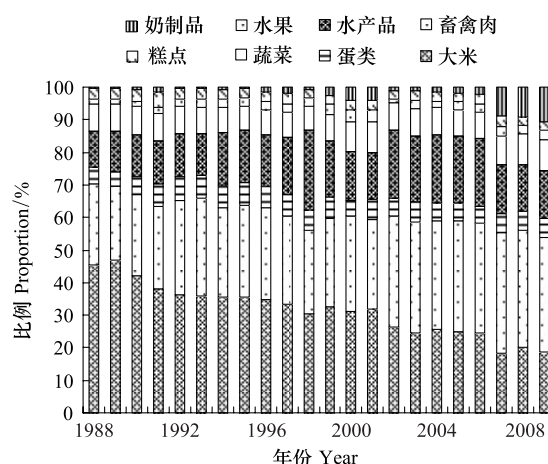


图5 1988—2009年厦门市居民食物氮消费结构变化

Fig.5 Structure of food nitrogen consumption per capita per year of Xiamen residents

表 3 厦门市居民人均氮素消费量与各因素相关性

Table 3 Partial correlation coefficients between nitrogen food consumption and various economic factors

因子 Factors	相关系数 Partial correlation	显著性 Significance (2-tailed)
人均可支配收入 Per capita disposable income	0.976	0.000
恩格尔系数 Engel's coefficient	-0.879	0.000
食物价格指数 Food price index	0.925	0.000
具有大学程度(大专及以上)人口比重 Proportion of population with college degree	0.884	0.000
平均家庭人口数 Average number of family members	-0.877	0.000

表 4 居民食物消费氮素流动情况

Table 4 Nitrogen flows in residents' food consumption/t

项目 Items	1988 年 1988 Year	1994 年 1994 Year	2001 年 2001 Year	2008 年 2008 Year
食物消费总氮量 Total nitrogen of food consumption	5350.14	7344.81	10182.65	14502.12
人体吸收氮量 Nitrogen absorbed by human	1717.38	2021.17	2323.89	3255.85
厨余垃圾氮量 Total nitrogen of kitchen waste	123.64	635.72	1424.36	3616.91
污泥填埋氮量 Total nitrogen of sludge in landfill	220.10	430.21	1074.18	2956.41
尾水排放氮量 Total nitrogen discharged from treated wastewater	1996.99	2746.87	3567.27	2673.12
污水处理 N ₂ O 排放量 N ₂ O emissions from sewage treatment	24.26	34.95	51.44	64.29
肥料还田挥发氮量 Nitrogen volatilized from fertilizers	190.17	221.38	261.23	290.33

3.4 厦门市食物氮素消费造成的环境负荷

进入居民食物消费的氮素一部分成为餐厨垃圾进入垃圾处理系统被填埋,另一部分随着食物进入人体。一些氮素被人体吸收,而大多数氮素随排泄物排出体外,进入污水处理厂。伴随着污水处理过程,一部分氮以气体形式进入大气,另一部分进入污泥最终被填埋,其余则随着尾水排入海洋。根据此过程,选取 1988、1994、2001、2008 年进行分析,得出居民食物氮素消费的流动情况,具体结果如表 4 所示,在此基础上分析其造成的环境氮负荷量变化,结果如图 5 所示。

分析表 4 可知,除被人体吸收的氮素,食物消费的氮素主要成为餐厨垃圾,以及以粪尿形式还田、进入污水管道。1994 年以前,由于农村人口较多、经济发展程度较低,餐厨垃圾量较少,占到除人体吸收外氮素的 12%,而粪尿还田、管道污水氮量分别占到 27%、61%。到了 2008 年,随着经济发展、城镇人口比例的增加和污水管道覆盖率的提升,餐厨垃圾氮素比例增加至 32%,市政管道污水氮素降低至 53%。另一方面,从总体上分析食物氮素消费带来的环境负荷量,由图 5 可知,在居民食物氮素消费总量增长的同时,其所带来的环境氮负荷量也呈现增长趋势。1988 年,由于居民食物氮素消费带来的环境氮负荷量为 3509.12t,2008 年增加至 7629.36t。绝大多数氮素进入土壤和水体,其中,进入土壤的氮素占进入环境氮素总量的比例由 37% 增长到 60%,这主要由于餐厨垃圾的填埋量增长所致。进入水体的氮素比例由 57% 降至 35%,这可能与污水处理工艺提改进、氮去除率提高有关。1988—2008 年间,食物消费造成的大气氮负荷量较少,均低于 10%。

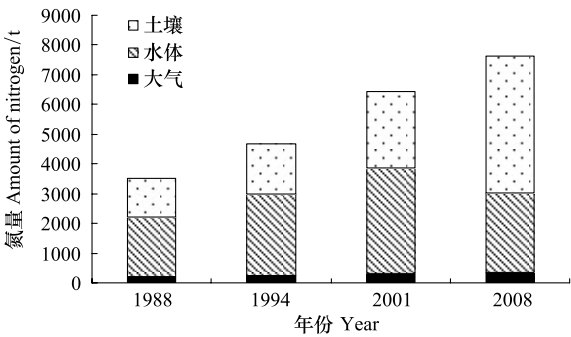


图 6 厦门市食物氮素消费造成的环境氮负荷

Fig.6 Environmental nitrogen loading from food nitrogen consumption

4 讨论

4.1 食物消费氮流动模型与计算

本文的食物消费氮流动模型以马林等人建立的区域间食物链氮素流动模型为基础^[13],结合厦门市的氮素流动特点建立而成。家庭消费作氮素流动的最重要环节,决定氮素的投入和输出,针对不同城市的家庭食物氮消费,其氮素流动过程也不尽相同,如污水处理厂尾水去向,以及餐厨垃圾、污水污泥处理方式等环节可能存在差异。在时间尺度上的食物消费氮素流动计算,需要考虑多种因素,包括城、乡食物消费结构与消费量的差异,污水管网的覆盖情况,以及污水处理氮去除率的变化等。本文依据《厦门经济特区年鉴》提供的城镇、农村家庭食物消费情况,分别对城、乡人口食物氮消费量进行了计算,文章中的食物消费量为二者综合得出的结果;此外,在计算尾水排放氮量时,污水处理量、氮去除率等数据均通过厦门市环保局和水务集团的调研,获得参数,保证计算结果的可靠性。

居民在外就餐是食物消费的一种重要方式,但对于长时间尺度的食物氮消费研究,由于缺乏统计资料,本文没有涉及。这部分研究需要进行大量的问卷调查,这将是今后研究的重要内容之一。城市食物消费氮流动研究尚属起步阶段,深入的研究需要大量的统计数据以及参数,未来的研究应进一步建立系统的参数、统计数据库,使研究结果更为准确。

4.2 厦门市居民食物消费氮素流动特征

从食物氮消费来看,厦门市居民食物氮消费量波动性增加,消费结构转变明显,居民越来越青睐奶制品、肉类等高氮含量的食品。国外学者研究表明,从生命周期角度来看奶制品、肉类等食品的富营养化潜在性远高于粮食、蔬菜等植物性食物^[25]。由此可见,厦门市居民的食物消费模式有可能对水体造成一定不良影响,同时,高肉类低素食的消费模式并非合理的膳食结构,还将影响居民的身体健康,诱发肥胖、高血脂等疾病。另一方面,在经济发展和居民需求的拉动下,为提高畜禽产品产量,必然加大以化肥、饲料为基础的原料投入,城市氮流动量也随之加大,还将进一步导致环境氮负荷量的增长^[26-31]。尽管厦门市自身农业规模较小,但由于氮肥施用量的增加以及畜禽产业的发展,农业对厦门水体总氮的排放负荷占到 15% 左右。此外,通过本文结果可知,城市的发展带来了居民收入的增加,高学历人口数也随着教育水平的提高而增加,一定程度促进居民食物氮消费量的增长,而平均家庭人口数的减少将进一步加剧人均食物氮消费量增长。目前厦门市城市发展迅速,家庭规模也日趋小型化,食物氮消费量也将随之持续增长,由此带来的资源和环境的压力不容忽视。

从厦门市食物消费引起的环境氮负荷来看,土壤、水体是氮素输出最主要的汇。餐厨垃圾填埋是造成厦门市环境氮负荷量增加的最主要环节,其次为污泥填埋和尾水排放。因此减少餐厨垃圾量和资源化利用是降低厦门市环境氮负荷的首要任务。历年来,厦门市餐厨垃圾在生活垃圾中的比重占 50% 以上,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 $414.3 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,也就是说,短短 10a 间,人均餐厨垃圾量增长了近 1 倍^[32]。除此之外,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,由此也造成厦门市土壤氮负荷量迅速增长。餐厨垃圾氮含量丰富,其组分随产生环境的不同而有所差别,含氮量最高可达到 5%,因此,餐厨垃圾的氮素流失问题不容忽视。以氮含量 1% 计算,厦门市每年约有 2500t 氮素存在于餐厨垃圾中而被填埋,约占全市居民食物氮素消费总量的 30% 以上,相当于厦门施用氮肥总量的 25%,可见随食物进入居民生活的氮素并没有被充分利用,氮素流失量相当可观,若通过堆肥和厌氧消化等方式加以资源化利用,将大量减少土壤氮负荷量。

5 结论

本文通过运用物质流分析法对厦门市 1988—2009 年居民食物氮消费情况进行了分析,得出厦门市人均食物氮消费量呈波动性升高,居民食物氮消费结构中动物性食物比例显著增高,而随经济发展、教育水平提高、家庭规模小型化的影响,人均食物氮消费量存在继续增长的趋势。

居民食物氮素消费的改变对城市环境会造成来的环境氮负荷量由 3509.12t 增加 7629.36t,绝大多数氮素进入土壤和水体。餐厨垃圾填埋、污泥填埋、尾水排放是造成厦门市环境氮负荷量增加的最主要环节,合理

消费、减少餐厨垃圾量、对餐厨垃圾进行资源化利用是减少环境氮负荷、提高氮利用效率的最主要方式。

References:

- [1] 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.
- [2] Cui S H, Li F Y, Yu Y X, Lin J Y. Theoretical thinking on urbanization and sustainable urbanization. *Urban Studies*, 2010, 17(3): 17-21.
- [3] Norman K J. Changing lifestyles in transition routes towards sustainable household on consumption patterns. *International Journal of sustainable Development*, 1999, 2(2): 231-244.
- [4] Casani S, Rouhany M, Knochel S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. *Water Research*, 2005, 39: 1134-1146.
- [5] Gao W, Zhu H, Chen S. Impacts of urbanization on topsoil nutrient balances-a case study at a provincial scale from Fujian, China. *Catena*, 2007, 68: 36-43.
- [6] Boyer E W, Goodale C L. Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern U. S. A. *Biogeochemistry*, 2002, 57(58): 137-169.
- [7] Huang Y, Tang Y H. An estimate of greenhouse gas (N_2O and CO_2) mitigation potential under various scenarios of nitrogen use efficiency in Chinese croplands. *Global Change Biology*, 2010, 16: 2958-2970.
- [8] Galloway J N, Townsend A R, Erisman J W, Bekunda M, Cai Z C, Freney J R, Martinelli L A, Seitzinger S P, Sutton M A. Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science*, 2008, 320: 889-892.
- [9] Barles S. Feeding the city: food consumption and flow of nitrogen, Paris, 1801—1914. *Science of the Total Environment*, 2007, 375: 48-58.
- [10] Shukla B D, Misra A K, Gupta P K. Application of nitrogen in production and post-production systems of agriculture and its effect on environment in India. *Environmental Pollution*, 1998, 102: 115-122.
- [11] Ma L, Ma W Q, Velthof G L, Wang F H, Qin W, Zhang F, Oenema O. Modeling nutrient flows in the food chain of China. *Environmental Quality*, 2010, 39: 1279-1289.
- [12] Wang J N, Xu Z C, Peng X C. Change trend of Chinese urban residents' food-nitrogen consumption. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2010, 38(19): 10332-10334.
- [13] Ma L, Wei J, Wang F H, Gao L W, Zhao L, Ma W Q, Zhang F S. Nitrogen flow in food chain among regions based on MFA and model: a case of Huang-Huai-Hai Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 475-483.
- [14] Editorial Board of Yearbook of Xiamen Special Economic Zone. *Yearbook of Xiamen Special Economic Zone (1989—2010)*. Beijing: China Statistics Press, 1989-2010.
- [15] Editorial Board of Yearbook of Fujian Province. *Yearbook of Fujian Province (1989—2010)*. Beijing: China Statistics Press, 1989-2010.
- [16] Yang Y M, Yang Z F, Zhang X F, Liu H L, Xi B D. Nitrogen transformation and loss during the composting of food wastes with different nitrogen contents. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 993-999.
- [17] Xu Z C, Wang J N, Zhuang X C, Peng X C. Study on nitrogen emission and model of human excreta. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2009, 27(33): 16510-16512.
- [18] Zhu Z L, Wen X Q. Nitrogen of soil in China. Jiangsu: Jiangsu Science and Technology Press, 1992.
- [19] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Tokyo, Japan, 2007.
- [20] Fu D F, Cai M Y, Hua J L, Huang C, Ye G J. Research of microwave processing experiment on municipal sludge of sewage plant. *China Water & Wastewater*, 1999, 15(6): 56-57.
- [21] Li Y X, Chen T B, Luo W, Huang Q F, Wu J F. Contents of organic matter and major nutrients and the ecological effect related to land application of sewage sludge in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2464-2474.
- [22] Wang G Y. *Nutrition Facts of Chinese Food 2004*. Beijing: People's medical Publishing House, 2004.
- [23] Luo T W, Ou Yang Z H, Wang X K, Miao H, Zheng H. Dynamics of urban food-carbon consumption in Beijing households. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3252-3258.
- [24] Irala-Esteva J D, Grot M, Johansson L, Oltersdorf U, Prattala R, Martinez-Gonzalez M A. A systematic review of socio-economic differences in food habits in Europe: consumption of fruit and vegetables. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 54: 706-714.
- [25] Xue X B, Landis A E. Eutrophication Potential of Food Consumption Patterns. *Environmental Science & Technology*. 2010, 7: 6450-6456.
- [26] Xiang R J, Chai L Y, Zhang G, Zhang X L, Zeng M. Input-output dynamics of nitrogen and sulfur in Caijiatang forested catchment in Hunan

Province. *Acta Scientiae Cricumstantiae*, 2006, 26(8): 1372-1378.

- [27] Dong G X. Analysis of urban resident food demand in Chinese inshore areas in the 21st century. *Journal of Agricultural Mechanization Science*, 2006, 12:85-87.
- [28] Deng M H, Xie Y X, Xiong Z Q, Xing G X, Yan X Y. Nitrogen budgets of the Yangtse delta region and their effect on the environment. *Acta Scientiae Cricumstantiae*, 2007, 27(10): 1709-1716.
- [29] Chen N W, Hong H S, Xiao J, Zhang L P, Wang J P. Dry deposition of atmospheric nitrogen to Jiulong River watershed in southeast China. *Acta Ecological Sinica*, 2006, 26(8): 2602-2607.
- [30] Galloway J N. Acid deposition: perspectives in time and space. *Water air and soil pollution*, 1995, 85: 15-24.
- [31] Mosier A R, Scheimel D S, Valentine D, Bronson K, Parton W. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grassland. *Nature*, 1991, 350: 330-332.
- [32] Xiamen Municipal Environment Council. Report of source managements of Xiamen's urban waste. Xiamen: Xiamen Municipal Environment Council, 2000.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 崔胜辉, 李方一, 于裕贤, 林剑艺. 城市化与可持续城市化的理论探讨. *城市发展研究*, 2010, 17(3): 17-21.
- [12] 王俊能, 许振成, 彭晓春. 中国城镇居民食物氮消费变化分析. *安徽农业科学*, 2010, 38(19): 10332-10334.
- [13] 马林, 魏静, 王方浩, 高利伟, 赵路, 马文奇, 张福锁. 基于模型和物质流分析方法的食物链氮素区域间流动——以黄淮海为例. *生态学报*, 2009, 29(1): 475-483.
- [14] 厦门市统计局. 厦门经济特区年鉴(1989-2010). 北京: 中国统计出版社, 1989-2010.
- [15] 福建省统计局. 福建统计年鉴(1989-2010). 北京: 中国统计出版社, 1989-2010.
- [16] 杨延梅, 杨志峰, 张相锋, 刘鸿亮, 席北斗. 底物含氮量对厨余堆肥氮素转化及其损失的影响研究. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 993-999.
- [17] 许振成, 王俊能, 庄晓诚, 彭晓春. 人体粪尿氮排放及其模型研究. *安徽农业科学*, 2009, 37(33): 16510-16512.
- [18] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素. 江苏: 江苏科学技术出版社, 2007.
- [20] 傅大放, 蔡明元, 华建良, 黄晨, 叶公建. 污水厂污泥微波处理试验研究. *中国给水排水*, 1999, 15(6): 56-57.
- [21] 李艳霞, 陈同斌, 罗维, 黄启飞, 吴吉夫. 中国城市污泥有机质及养分含量与土地利用. *生态学报*, 2003, 23(11): 2464-2474.
- [22] 王光亚. 中国食物成分表 2004. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- [23] 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*, 2006, 25(12): 3252-3258.
- [26] 向仁军, 柴立元, 张龚, 张西林, 曾梅. 湖南蔡家塘森林小流域氮和硫的输入输出特征. *环境科学学报*, 2006, 26(8): 1372-1378.
- [27] 董国新. 21 世纪我国沿海地区城镇居民食品消费需求分析. *农机化研究*, 2006, 12: 85-87.
- [28] 邓美华, 谢迎新, 熊正琴, 邢光熹, 颜晓元. 长江三角洲氮收支的估算及其环境影响. *环境科学学报*, 2007, 27(10): 1709-1716.
- [29] 陈能汪, 洪华生, 肖剑, 张路平, 王吉莘. 九龙江流域大气氮干沉降. *生态学报*, 2006, 26(8): 2602-2607.
- [32] 厦门市市容环境卫生管理处. 厦门市城市生活垃圾源头管理对策研究报告. 厦门: 厦门市市容环境卫生管理处, 2010.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China	
..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)	
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen	
..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)	
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer	
..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)	
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010	
..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)	
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i>	
..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)	
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta	
..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)	
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region	
..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)	
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i>	
..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)	
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil	
..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)	
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge	
..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)	
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China	
..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)	
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert	
..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)	
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau	
..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)	
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands	
..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)	
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants	
..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)	
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area	
..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)	
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field	
..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)	
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties	
..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)	
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution	
..... ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)	
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers	
..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)	
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system	
..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)	
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO ₂ emission in dry-land of maize	
..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)	
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County	
..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)	
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province	
..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)	
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model	
..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)	
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats	
..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)	
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant	
..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)	
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming	
..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)	
Review and Monograph	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method	
..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)	
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review	
..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)	
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish	
..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)	
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses	
..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)	
Advances in ecological immunology	
..... XU Deli, WANG Dehua (6251)	
Scientific Note	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills	
..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)	
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin	
..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)	

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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

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 32 卷 第 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 2012)

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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:1000717	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 70.00 元