

# 基于生态足迹理论的调水工程移民生态补偿标准研究

魏晓燕, 夏建新, 吴燕红

(中央民族大学 生命与环境科学学院, 北京 100081)

**摘要:**为解决我国水资源分布不均的问题,实现水资源的合理分配和使用,跨流域调水已成为解决缺水地区水资源危机的重要手段。制定公平、合理的补偿标准,对水源区生态移民进行适当、合理的补偿,是实现持续、高效调水工程的保证,也是我国学术界和政府较为关注的热点问题之一。传统的补偿标准未能充分、客观地考虑移民的生态损失,因而不能提供合理、全面的补偿额度。本文以南水北调中线工程水源区丹江口市为例,整体考虑移民对生态环境的贡献,在生态足迹和生态承载力核算的基础上,计算移民的生态补偿额度。根据研究结果,建议生态移民的人均生态补偿额度为 1 148 元/a。本案例有助于推进生态移民补偿机制的研究,为研究区及其他贫困地区的生态移民补偿提供参考。

**关键词:**调水工程;生态足迹;生态承载力;生态补偿;生态移民

中图分类号:F301;D632.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0214-05

## Ecological Compensation Criteria for Ecological Migrations of Water Transfer Projects Based on Ecological Footprint Theory

WEI Xiao-yan, XIA Jian-xin, WU Yan-hong

(Department of Environmental Science,

College of Life and Environmental Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Large water projects are important ways to alleviate the water stress in China, which inevitably lead to large quantity of ecological immigrants. Reasonable compensation criteria for ecological compensation is extremely important for sustainable ecological projects. Traditional methods fail to calculate the full losses of local residents and lead to unreasonable and unsustainable compensation. To copy with the problems mentioned above, a new method to calculate compensation criterion for ecological immigrants was developed based on ecological footprint theory. Ecological migrations in the South-North Water Transfer Middle Route Project were taken as an example. Ecological footprint and ecological carrying capacity were used to calculate the ecological contribution of immigrants. Results indicate that the recommended compensation criteria was 1 148 Yuan RMB per capita year. The current study may be served as an example for calculating the ecological compensation criteria of ecological engineerings in this region as well as other impoverished areas.

**Key words:** water transfer project; ecological footprint; ecological carrying capacity; ecological compensation criteria; ecological migration

生态补偿是一种以保护生态环境,促进人与自然和谐发展为目的,根据生态系统服务价值、生态保护成本和机会成本,运用政府和市场手段,调节生态保护利益相关者之间利益关系的公共制度<sup>[1-3]</sup>。生态补偿对于协调环境保护与经济发展、生态保护与环境消费的关系具有重要作用和意义,尤其是生态移民的补

偿问题,关系到社会的公平和稳定,更是需要引起足够的重视<sup>[4]</sup>。建立合理的生态补偿机制,对生态移民进行合理的补偿,既是贯彻落实科学发展观、推进经济、社会可持续发展的需要,也是我国生态补偿研究接轨国际潮流的需求。

国内外学者对生态补偿的补偿范围、补偿标准、

收稿日期:2012-03-21

修回日期:2012-05-11

资助项目:中央民族大学“985”工程(MUC985-9);民族问题研究中心项目(2010-GM-012)

作者简介:魏晓燕(1982—),女(蒙古族),青海省西宁市人,博士研究生,主要从事生态价值和生态补偿方面的研究。E-mail: weixiaoyan4477@163.com

通信作者:夏建新(1969—),男,湖北省黄冈人,博士,教授,主要从事环境管理相关工作。E-mail: jxxia@vip.sina.com

补偿依据和补偿办法等方面进行了深入广泛的研究<sup>[5-7]</sup>,而补偿标准是生态补偿研究的重点和难点。生态补偿标准的确定决定了补偿金额的大小,关系到补偿的效果。合理的生态补偿标准,既要充分考虑弱势群体、尤其是贫困农户的生计问题和对环境的依赖作用,又要保证利益相关方的经济利益,以达到社会—环境—经济的协调发展。典型的核算方法包括以基于成本的费用分析法<sup>[8]</sup>、机会成本法<sup>[9]</sup>,基于生态系统服务价值评价的市场价值法<sup>[10-11]</sup>和基于问卷的条件价值法<sup>[12]</sup>。但上述研究方法计算得到的生态补偿标准,未能完全体现移民的生态贡献,部分核算结果缺乏实践性,不易实施。例如,生态系统服务功能价值法,其补偿标准涉及了生态系统服务功能的直接、间接价值,补偿标准可能偏高,生态系统服务价值可以作为生态补偿标准的理论上限,而不是作为现实的生态补偿标准。而意愿调查法,受调查样本大小和利益相关方的支付意愿和受偿意愿的影响较大,也不能反映客观的补偿标准。因此,亟需找到一种新的方法,客观地反映出移民生态系统服务的损失和贡献,以实现合理的补偿。

生态足迹是由加拿大生态经济学家 William 提出、由 Wackernagel 完善的一种度量社会经济发展可持续程度的方法,采用基于土地面积的生态足迹和生态承载力指标对一定区域内人类活动的自然生态影响的一种测度。具有客观明了、易于理解和可操作性强等优点,已成为一种十分实用的测度生态可持续性的定量方法<sup>[13]</sup>。本研究在生态足迹和对生态承载力核算的基础上,以南水北调中线工程的调水区——十堰市为案例,综合考虑本地经济现状,开展生态补偿标准研究,以弥补传统评价方法中不能客观或完全地反映移民生态损失或生态贡献的不足,为制定合理的补偿标准提供有意义的参考。

## 1 研究区概况

十堰市位于湖北省西北部,地处秦巴山区腹地,汉江中上游,与陕、豫、渝交界,跨东经 109°29′—111°16′,北纬 31°30′—33°16′。国土面积 2.36 km<sup>2</sup>,其结构大体为八山一水一分田,其中山地占 76%。属亚热带季风气候,年均降水量 834 mm,平均气温 15.2℃,年日照总时数 1 655~1 958 h,无霜期 244~255 d。十堰市辖 5 县 1 市 2 区,即郧县、郧西县、竹山县、竹溪县、房县、丹江口市、张湾区和茅箭区,总人口 348 万。全市均为南水北调中线工程水源区,也是南水北调中线工程核心水源区和大坝加高工程所在

地,是水库入库水量最大、库岸线最长,中线水源最为敏感的地区。

为确保南水北调中线工程的顺利实施以及后续调水的水质、水量,作为调水区的湖北省十堰市开展了大量的生态环境治理措施<sup>[14]</sup>。这些措施在使水源区自然环境得到改善、水污染得到有效控制的同时,也给水源区的居民带来了一定的影响,其中最为重要的就是大规模的生态移民。仅一期工程,就淹没十堰 380 km<sup>2</sup> 的土地,搬迁移民 28.7 万人,其中外迁 9 万人,就地后靠安置 19.7 万人。二期工程建设,又将淹没土地 158.7 km<sup>2</sup>,动迁移民 17.8 万人,其中后靠安置 8.83 万人。两期工程建设,十堰移民多达 46.54 万人,其移民规模仅次于三峡工程<sup>[15]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 生态足迹与生态承载力核算

生态足迹模型计算基于两个基本假设:(1) 人类可以确定自身消费的大多数能源、资源以及所产生的废弃物数量;(2) 这些资源和废弃物可以折算成相应的生物生产性土地面积<sup>[16]</sup>。其中生物生产性土地面积是指具有生态生产能力的土地或水体,包括森林、草地、耕地、建筑用地、石化能源用地和水域 6 大类型。由此,可得到一定人口的生态足迹是生产这些人口所消费的资源 and 吸纳这些人口所产生的废弃物所需要的生物生产性土地的总面积(包括陆地和水域)<sup>[17-18]</sup>。生态足迹的计算方法为:

$$EF = N \cdot ef = N \cdot r_j \cdot \sum(aa_i) = N \cdot r_j \cdot \sum(C_i/P_i) \quad (1)$$

式中:EF——总生态足迹;N——人口数量;ef——人均生态足迹;*i*——消费商品和投入的类型;*j*——生物生产性土地的类型;*aa<sub>i</sub>*——人均第 *i* 种交易商品折算的生物生产性土地面积(hm<sup>2</sup>);*C<sub>i</sub>*——第 *i* 种商品人均消费量;*P<sub>i</sub>*——第 *i* 种消费品的世界平均生产能力(t/hm<sup>2</sup>),本文采用 1993 年联合国粮农组织公布的世界生态生产性土地面积的平均产量<sup>[19]</sup>; *r<sub>j</sub>*——均衡因子,因为单位面积的林地、草地、耕地、石化燃料用地以及水域的生物生产量有很大差异,所以有必要对每种土地类型乘以相应的均衡因子,得到统一的、可比较的生物生产性土地面积,文中采用 Wackernagel 核算出的均衡因子:耕地、建筑用地为 2.8,草地为 0.5,石化能源用地为 1.1,水域为 0.2<sup>[17]</sup>。

以生态足迹来衡量生态承载力的定义是:在不损害有关生态系统的生产力和功能完整的前提下,一个地区能用的生态生产性土地的总面积。它可以理解为一定自然、社会和经济条件下某地区所能提供

的生态生产性土地。在计算生态承载力时,因为不同国家资源条件不同,单位面积的林地、耕地、草地的生物生产力有很大差异,即使同种类型的土地不同国家和地区的实际产量也因地制宜。因此,需要用产量因子对不同国家或地区的生物生产性土地产量进行相应的调整。产量因子是指一个国家或地区某种类型土地的平均生产力与该种类型土地的世界平均生产力的比率。生态承载力的计算方法为:

$$EC = N \cdot ec = N \cdot \sum a_j \cdot r_j \cdot y_j \quad (2)$$

( $j=1,2,3,\dots,6$ )

式中:EC——总生态承载力; $N$ 为人口数量; $ec$ ——人均生态承载力; $a_j$ ——人均生物生产面积; $r_j$ ——均衡因子; $y_j$ ——产量因子, $y_j = y_{lj} / y_{wj}$ , $y_{lj}$ ——指某个国家或区域的  $j$  类型土地的平均生产力, $y_{wj}$ —— $j$  类型土地的世界平均生产力。据文献报道,我国各种类型土地的产量因子分别为耕地 1.66,建筑用地 1.66,草地 0.19,森林 0.91,水域 1.0<sup>[17]</sup>。按照世界环境与发展委员会(WCED)报告——《我们共同的未来》的建议应扣除 12% 的生物多样性保护面积的生态承载力,得到实际可以利用的生态承载力。将一个地区或国家的生态足迹和生态承载力相比较,就会产生生态赤字(生态足迹大于生态承载力)或生态盈余(生态足迹小于生态承载力)。

## 2.2 生态补偿标准的确定

补偿标准的确定一般依据 3 个方面:基于生态系统服务价值评估的标准确定;基于环境保护成本的标准确定;基于保护损失的标准确定。但以上标准均存在难点,即生态价值或保护成本的核算存在主观性。国内有学者基于生态承载力的贡献对自然保护区居民进行了生态补偿标准的研究<sup>[20-22]</sup>,比较了保护区与所在区域的生态承载力,取其差值作为补偿的依据,比较客观地反映了居民对保护区生态建设的贡献,是生态补偿的新尝试。然而,基于保护区与所在区域的生态承载力差值进行补偿,依然不能客观反映移民的生态贡献。一方面,生态承载力仅仅是当地土地生产力的客观反应,很大程度上取决于当地的自然条件。另一方面,移民对自然生态系统的使用并未体现出来。移民移出后,肯定会对迁出地生态环境产生正面的影响,但对于迁入地而言,移民的迁入又会占用当地的生态环境资源。要客观全面地评价移民的生态贡献,必须从整体出发,综合考虑由迁出地生态移民的生态赤字和迁入地生态赤字的差值体现的生态贡献的净值。以本研究为例,十堰市移民的生态赤字和湖北省人均生态赤字之差就是移民的人均生态贡献。依据湖北省的总人口和总 GDP 计算出人均生态足迹

效率,与移民的人均生态贡献相乘,即为人均生态补偿标准。该方法既能客观反映出移民对当地的生态贡献,又能客观体现出地区资源利用效益和经济水平差异。本研究基于以下前提和假设,即只是计算省内生态移民生态贡献的补偿标准,而其他损失的补偿,如林木、池塘、搬迁移民房屋及附属建筑物等,国家依据实际情况制定补偿措施。具体核算过程如下:

(1) 计算迁入地(湖北省)的人均生态足迹效率。

$$E_{ef} = GDP / (EF_1 \cdot P_1) \quad (3)$$

式中: $E_{ef}$ ——人均生态足迹效率; $GDP$ ——迁入地(湖北省)GDP; $EF_1$ ——迁入地(湖北省)总生态足迹; $P_1$ ——迁入地(湖北省)总人口。

(2) 计算迁入地(湖北省)的人均生态赤字(或生态盈余)。

$$E_{d1} = (EF_1 - EC_1) / P_1 \quad (4)$$

式中: $EC_1$ ——迁入地(湖北省)总生态承载力。

(3) 计算迁出地(十堰市)人均生态赤字(或生态盈余)。

$$E_{d2} = (EF_2 - EC_2) / P_2 \quad (5)$$

式中: $EF_2$ ——迁出地(十堰市)总生态足迹; $EC_2$ ——迁出地(十堰市)总生态承载力; $P_2$ ——迁出地(十堰市)总人口。

(4) 计算人均生态补偿标准。

$$C_{av} = |E_{d1} - E_{d2}| \times E_{ef} \quad (6)$$

式中: $C_{av}$ ——人均补差标准。

## 2.3 数据来源

生态足迹涉的核算及到生物资源和能源资源的消费。数据主要来源于《十堰市统计年鉴 2009》。实际计算中,生物资源消费分为农产品、动物产品、水产品、林产品等几大类,各大类再进一步细分。能源资源消费根据十堰市实际情况主要考虑了原煤、焦炭、原油、汽油、燃料油、液化石油气、电力等能源类型,以单位化石燃料的平均热量为标准,通过折算系数将区域内能源消费换算成一定的化石能源用地面积<sup>[17]</sup>。人均生态承载力的核算涉及到十堰市耕地、牧草地、林地、建筑用地、水域的保有面积,根据相关统计年鉴得到。

## 3 结果与分析

### 3.1 十堰市生态足迹与生态承载力

十堰市 2008 年生物资源消费类生态足迹、生态承载力及汇总情况如表 1—3 所示。该市 2008 年人均生态足迹为 1.549  $\text{hm}^2/\text{a}$ ,而人均生态承载力为 0.437  $\text{hm}^2/\text{a}$ ,人均生态赤字为 1.12  $\text{hm}^2/\text{a}$ 。就湖北省平均水平而言,3 个数据分别为 2.567, 0.593, 1.973  $\text{hm}^2/\text{a}$ <sup>[23]</sup>。以上数据说明,十堰市的人类活动

对自然生态系统的压力已超出生态承载力的范围,但相比其他地市的生态赤字略小,这也与当地经济发展水平不高有关。耕地、草地、林地、水域、化石能源用地和建筑用地的人均生态足迹分别为 0.383,0.281,0.026,0.190,0.669,0.025  $\text{hm}^2/\text{a}$ 。其中,该市对化石能源用地、耕地和草地的需求最大。而对应的生态

承载力分别为 0.297,0.001,0.115,0.0058,0 和 0.018  $\text{hm}^2/\text{a}$ 。其中,耕地和林地的生态承载力供给较大。总体看来,5 个类型的生态系统中只有林地略有盈余,人均达到 0.088  $\text{hm}^2$ ,而其他的均为生态赤字。生态赤字最高的为牧草地和水域,人均分别达到了 0.279  $\text{hm}^2/\text{a}$  和 0.184  $\text{hm}^2/\text{a}$ 。

表 1 十堰市 2008 年生物资源消费类生态足迹

产品名称	全球平均产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	消费/t	总生态足迹	人均生态足迹 ( $\text{hm}^2/\text{人}$ )	土地类型
稻谷	2744	460247	167728	0.0492	耕地
小麦	2744	231744	84454	0.0247	
薯类	12607	48624	3856	0.0011	
玉米	2744	135852	49508	0.0145	
大豆	1856	15588	8398	0.0024	
棉花	1000	30804	30804	0.0091	
油料	1856	171441	92371	0.0271	
麻类	1500	2858	1905	0.0005	
糖类	4893	15882	3245	0.0009	
烟叶	1548	7078	4572	0.0013	
蔬菜	18000	173438	9635	0.0028	
瓜果类	18000	185133	10285	0.0030	
猪肉	74	105174	1421270	0.4172	
牛羊肉	33	9676	293236	0.0860	
家禽	457	26305	57560	0.0168	
绵羊毛	15	0.021	1.44	0.0000004	
山羊毛	15	0.355	23	0.000007	
牛奶	502	6361	12673	0.0037	
蜂蜜	50	256	5124	0.0015	
鲜蛋	400	49143	122859	0.0361	
油桐籽	1600	578	361	0.0001	林地
油茶籽	1600	1181	738	0.0002	
竹笋干	3000	171	57	0.00001	
板栗	3000	4506	1502	0.0004	
茶叶	566	4690	8287	0.0024	
水果	3500	135957	38845	0.0114	
蚕茧	1000	450	450	0.0001	
原木	1.99 <sup>①</sup>	63939 <sup>②</sup>	32130	0.0094	
淡水产品/海水产品	29	94017	3241965	0.9518	水域

注:①单位为  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;②单位为  $\text{m}^3$ 。

表 2 十堰市 2008 年能源资源消费类生态足迹

消费项目	消费/t	折算系数/ ( $\text{GJ} \cdot \text{t}^{-1}$ )	全球平均能源足迹/ ( $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总生态足迹/ $\text{hm}^2$	人均生态足迹 ( $\text{hm}^2/\text{人}$ )	土地类型	
煤炭	1531912	20.934	55	1524299	0.4505	化石能源	
焦	197172	28.47	55	197171	0.0579		
原油	287404	41.868	93	314415	0.0845		
汽油	2999	43.124	93	3138	0.0008		
煤油	159	43.124	93	157	0.00004		
柴油	8313	42.705	93	7854	0.0024		
燃料油	7913	50.20	71	7206	0.0023		
液化石油气	1434	50.20	71	1504	0.0004		
电力	33614	3.36	1000	30575	0.0090		建筑

注:电力千瓦时与热量折算系数是根据每千瓦时耗煤 397 g,再根据每克煤发热量换算。

表 3 十堰市 2008 年人均生态足迹和生态承载力汇总

土地类型	人均面积 (hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	人均生态足迹/ (hm <sup>2</sup> /人)	土地类型	人均面积 (hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	产量因子	人均生态承载力/(hm <sup>2</sup> /人)
化石能源用地	0.609	1.1	0.669	CO <sub>2</sub> 吸收地	0	1.1	0	0
耕地	0.137	2.8	0.383	耕地	0.064	2.8	1.66	0.297
牧草地	0.562	0.5	0.281	牧草地	0.012	0.5	0.19	0.001
林地	0.024	1.1	0.026	林地	0.551	1.1	0.19	0.115
建筑用地	0.009	2.8	0.025	建筑用地	0.0039	2.8	1.66	0.018
水域	0.951	0.2	0.190	水域	0.029	0.2	1.00	0.0058
总计			1.549					0.437

### 3.2 十堰市移民生态补偿核算

湖北省 2008 年人均生态足迹(2.567 hm<sup>2</sup>/人)和人均生态承载力(0.593 hm<sup>2</sup>/人)数据,参照相关文献获取<sup>[23]</sup>,其他数据来源于统计年鉴。基于湖北省 2008 年国内生产总值 1.133×10<sup>12</sup>元和 6.016×10<sup>7</sup>的人口规模,湖北省人均生态足迹效率( $E_{ef}$ )为 0.731 8 万元/hm<sup>2</sup>,人均生态赤字为 1.269 hm<sup>2</sup>。相比而言,十堰市人均赤字为 1.269 hm<sup>2</sup>,二者的差值为 0.157 hm<sup>2</sup>。根据上述计算结果,每个移民的生态补偿建议为 1 148 元/a。按动迁移民 17.8 万人算,总的费用为 2.61 亿元/a。相比蔡邦成等<sup>[8]</sup>计算建设区域所增加的生态服务效益为 0.83 亿元/年,外部区域所增加的生态服务效益为 2.13 亿元/a 相比,每年费用少 0.35 亿元。至于赔偿年限的确定,还需要参考不同地区经济条件和不同的利益方的关系。

## 4 结论

依据生态足迹与生态承载力的相关理论方法,对生态补偿的标准进行了新的探讨,得到以下几个初步的结论:基于生态足迹和生态承载力差额的生态补偿标准核算,能从整体角度直接和客观地反映出生态移民为生态环境所做的贡献;研究方法综合考虑了移民对湿地、森林、农田等不同类型生态系统的使用以及当地的经济情况,更具全面性和可操作性;十堰市生态移民的人均补偿标准建议为 1 148 元/a。需要说明的是,本文只计算了移民的生态损失,其他的补偿如直接经济损失、机会成本损失等并未纳入研究范围。此外,生态补偿的来源、补偿年限和补偿方式等关键问题上还有待于进一步深入研究。生态移民的生态补偿机制,急需得到国家有关法律法规和相关政策的强力支持,将进行生态补偿的原则、范围、主体、标准、方式等以国家法律法规的形式确立下来,建立起权威、高效、规范的管理机制,促进生态补偿工作走上法制化、规范化、制度化和科学化的轨道。期望本研究能为我国生态移民补偿机制的建立提供有益的参考。

### 参考文献:

- [1] 蔡邦成,温林,陆根法.生态补偿机制建立的理论思考[J].生态经济,2005(2):47-51.
- [2] 史宇,余新晓,毕华兴.水土保持生态补偿机制建立的理论基础分析[J].水土保持研究,2009,16(1):156-161.
- [3] 张来章,党维勤,徐成.水土保持补偿机制中存在问题及其建议与对策[J].水土保持研究,2009,16(6):184-188.
- [4] 朱桂香.南水北调中线水源区生态补偿内涵及补偿机制建立[J].林业经济,2010(9):89-93.
- [5] Pagiola S, Arcenas A, Platais G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America[J]. World Development,2005,33(2):237-253.
- [6] Wunder S, Engel S, Pagiola S. Taking stock: a comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries[J]. Ecological Economics,2008,65(4):834-852.
- [7] Engel S, Pagiola S, Wunder S. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues[J]. Ecological Economics,2008,65(4):663-674.
- [8] 蔡邦成,陆根,宋莉娟,等.生态建设补偿的定量标准:以南水北调东线水源地保护区一期生态建设工程为例[J].生态学报,2008,28(5):2413-2416.
- [9] 李晓光,苗鸿,郑华,等.机会成本法在确定生态补偿标准中的应用:以海南中部山区为例[J].生态学报,2009,29(9):4875-4883.
- [10] 徐琳瑜,杨志峰,帅磊,等.基于生态服务功能价值的水库工程生态补偿研究[J].中国人口·资源与环境,2006,16(4):125-128.
- [11] 李怀恩,庞敏,肖燕,等.基于水资源价值的陕西水源区生态补偿量研究[J].西北大学学报:自然科学版,2010,40(1):149-154.
- [12] 贺桂珍,吕永龙,王晓龙,等.应用条件价值评估法对无锡市五里湖综合治理的评价[J].生态学报,2007,27(1):270-279.
- [13] 陈敏,张丽君,王如松,等.1978年—2003年中国生态足迹动态分析[J].资源科学,2005,27(6):132-139.

(下转第 222 页)

### 3 结论

本研究利用地统计学和地理信息系统(GIS)相结合的方法分析了沛县土壤有机质含量的空间变异特征,结果表明该县土壤有机质含量均值为 20.10 g/kg,其中淤土含量最高(27.26 g/kg),沙土含量最低(13.29 g/kg);土壤有机质含量的空间自相关程度为中等程度,自相关距离达到 26 700 m;全县范围内土壤有机质空间分布存在明显的规律性,由东向西逐渐降低,与土壤类型及土地利用的方式关系密切;从有机质含量的等级分布看,该县土壤有机质含量水平为中等偏低,特别是中西部地区,土壤有机质含量有较大的提升潜力,需要从耕作和管理上采取措施以提升土壤肥力。

#### 参考文献:

- [1] Huang B, Sun W X, Zhao Y C, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices[J]. *Geoderma*, 2007, 139(3/4): 336-345.
- [2] 张忠启, 史学正, 于东升, 等. 南方红壤丘陵区土壤有机质和全氮含量的空间预测研究[J]. *生态学报*, 2010, 30(19): 5338-5345.
- [3] Yu D S, Zhang Z Q, Shi X Z, et al. Effect of sampling density on detecting the temporal evolution of soil organic carbon in hilly red soil region of South China[J]. *Pedosphere*, 2011, 21(2): 207-213.
- [4] Wissing L, Kölbl A, Vogelsang V, et al. Organic carbon accumulation in a 2000-year chronosequence of paddly soil evolution[J]. *Catena*, 2011, 87(3): 376-385.
- [5] 邱建军, 王立刚, 李虎, 等. 农田土壤有机碳含量对作物产量影响的模拟研究[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 154-161.
- [6] 孔祥斌, 张凤荣, 王茹, 等. 基于 GIS 的城乡交错带土壤养分时空变化及格局分析: 以北京市大兴区为例[J]. *生态学报*, 2003, 23(11): 2210-2218.
- [7] 罗明, 潘先章, 孙波, 等. 江西余江县土壤有机质含量的时空变异规律研究[J]. *土壤*, 2008, 40(3): 403-406.
- [8] 章家琪, 汪雅各, 庞金华, 等. 土壤 pH、有机质和机械组成对背景值的影响[J]. *上海农业学报*, 1989(2): 31-35.
- [9] 曹慧, 杨浩, 孙波, 等. 流域丘陵地区土壤养分的空间变异[J]. *土壤*, 2002(4): 201-205.
- [10] 孙瑞娟, 王德建, 林静慧. 太湖流域土壤肥力演变及原因分析[J]. *土壤*, 2006, 8(1): 106-109.
- [11] Darilek J L, Huang B A, Wang Z G, et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region of China[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment* 2009, 129(1/3): 286-292.
- [12] 江苏沛县土壤普查办公室, 沛县土种志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985: 5-7.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 108-109.
- [14] 张建杰, 李富忠, 胡克林, 等. 太原市农业土壤全氮和有机质的空间分布特征及其影响因素[J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 3163-3172.
- [15] 吴乐知, 蔡祖聪. 中国土壤有机质含量变异性与空间尺度的关系[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(9): 965-972.
- [14] 韩宇平, 郭卫宁. 我国调水工程生态补偿机制初探[J]. *中国水利*, 2008(12): 1-7.
- [15] 段跃芳, 孙永平. 南水北调中线工程丹江口库区外迁移民安置策略探析[J]. *三峡大学学报: 人文社会科学版*, 2010, 32(5): 15-18.
- [16] Wackernagel M, Rees W. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*[M]. Gabriella Island: New Society Publishers, 1996.
- [17] Wackernagel M, David J. The ecological footprint: an indicator of process toward regional sustainability[J]. *Environment Monitoring and Assessment*, 1998, 51(1/2): 511-529.
- [18] Wackernagel M, Rees W. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economics from an ecological footprint perspective[J]. *Ecological Economics*, 1997, 20(1): 3-24.
- [19] Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Statistical Database: Agricultural Data* [M]. 1993.
- [20] 蔡海生, 肖复明, 张学玲. 基于生态足迹变化的鄱阳湖自然保护区生态补偿定量分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6): 623-627.
- [21] 王亮. 基于生态足迹变化的盐城丹顶鹤自然保护区生态补偿定量研究[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(3): 272-280.
- [22] 杨志平. 基于生态足迹变化的盐城市麋鹿自然保护区生态补偿定量研究[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(2): 261-264.
- [23] 李潇. 湖北省 2008 年生态足迹与生态承载力分析[J]. *区域发展*, 2009(5): 234-238.

(上接第 218 页)