

文章编号: 1007-7588(2013)01-0030-12

土地生态系统服务功能价值动态估算 模型的改进与应用 ——以福州市为例

胡喜生¹, 洪伟², 吴承祯²

(1. 福建农林大学城市规划系, 福州 350002; 2. 福建农林大学森林生态研究所, 福州 350002)

摘要: 土地生态系统服务功能价值评估是当前生态经济学和环境经济学的研究热点和焦点。本文在总结土地生态系统服务功能价值估算方法的基础上, 指出评估模型必须考虑空间异质性、社会发展阶段和资源稀缺性等因素。结合福州市“山多地少”的实际情况, 以耕地和林地两者的生物量来修正区域差异对土地生态系统服务价值的影响, 构建了空间异质系数, 以恩格尔系数和城镇化率共同构建了社会发展系数, 以人口密度构建了资源稀缺系数, 从而建立了土地生态系统服务功能动态价值估算模型。并以福州市为例, 分别估算出2009年土地生态系统服务功能的静态价值为389.48亿元, 动态价值为270.32亿元, 分别相当于当年GDP的14.77%和10.25%; 福州市单位面积土地生态系统服务功能动态价值的空间分布为: 市区 > 福清市 > 闽侯县 > 平潭县 > 长乐市 > 连江县 > 闽清县 > 永泰县 = 罗源县; 而人均土地生态系统服务功能动态价值的空间分布为: 永泰县 > 闽清县 = 闽侯县 > 罗源县 > 福清市 > 连江县 > 市区 > 平潭县 > 长乐市。改进后的动态估算模型计算结果更符合福州市各县(市)区的实际, 可为区域土地生态系统保护和经济发展综合决策提供更加及时、准确的有益信息, 对区域的生态环境建设和保护具有重要的现实意义。

关键词: 福州市; 土地生态系统服务; 动态估算模型; 恩格尔系数; 人口密度

1 引言

土地生态系统服务功能是多样的, 并随着社会经济的发展和科学技术的进步而变化, 国内外学者对各种功能及各项指标的核算方法存在不同的认识, 因此, 如果在土地生态系统服务功能分类与经济价值核算方法标准化方面的工作不能有所突破的话, 评估结果就不可能得到公认^[1-2]。1997年, Costanza等^[3]提出的全球生态系统服务和自然资本价值的评估方法对后来国内外生态系统服务功能价值研究的开展具有重要的影响。1999年, 我国著名生态学家欧阳志云等^[4-5]首先采用了生态系统服务的概念, 并对中国陆地生态系统的6种服务功能价值进行了初步评估。2003年, 谢高地等^[6]在对我国200位专业人士进行问卷调查的基础上, 建立了

中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表, 进一步通过生物量等因子对生态服务功能进行了校正, 该研究成果在国内后来的生态系统服务功能价值评价中也得到了广泛的应用。目前大部分对土地生态系统服务功能价值的评价均直接采用价值系数法, 对同类土地在不同时期、不同地区采用相同的价值系数, 导致评价的结果缺乏时空尺度变异的特征。本文将采用该方法评价得到的土地生态系统服务功能价值定义为静态价值。静态价值只具有即时效力或短暂效力, 不能解释因社会发展阶段不同和资源稀缺程度不同而引起的价格变化^[2]。这说明土地生态系统服务功能价值评估不仅需要考虑生态系统的现状和构成, 还要对其时空变化与对外来压力的敏感性进行评价, 因此研究开发土地生

收稿日期: 2012-06-06; 修订日期: 2012-10-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41201100); 福建省教育厅科技项目(编号: JA10120、JB11043)。

作者简介: 胡喜生, 男, 福建莆田人, 博士, 副教授, 研究方向为城市化的生态环境效应。E-mail: huxisheng2008@163.com

通讯作者: 吴承祯, E-mail: fjwcz@126.com

2013年1月

态系统服务功能的综合动态评估模型迫在眉睫^[1]。通过查阅大量国内外文献资料,认为土地生态系统服务功能价值估算需要考虑以下因素:①空间异质性。生态系统服务功能大小与其生物量有密切关系,生物量越大,生态系统服务功能越强^[7-8]。因此,不同区域生态系统的服务功能价值也会随其生物量的变化而变化。同一土地利用类型,如林地的类型不同、生物量不同、覆盖度不同等,其单位面积的服务价值也不同^[9];②社会发展阶段。人们对生态系统服务功能价值的支付意愿随着社会发展而不同,一般会随着社会经济发展水平不断提高而逐渐提高^[10-12];③资源稀缺性。从经济学角度分析,对土地生态服务功能的估价本质就是评估其经济学范畴的稀缺程度^[13],资源的稀缺性可以由价格来表示,以此来引导资源的配置以及生态环境政策的制定。因此,构建空间异质系数、社会发展系数和资源稀缺系数对静态价值评估模型进行修正,可为区域生态系统保护和经济发展综合决策提供更加及时、准确的信息。

鉴于此,本文在对土地利用进一步细化分类并采用专家咨询法确定当量系数的基础上,通过构建空间异质系数、社会发展系数和资源稀缺系数共同修正了土地生态系统服务功能价值评估模型。由于改进后的价值评估模型中3个修正系数随时空变化而变化,因此利用该模型估算同类土地生态系统服务功能价值时,其值大小随时空变化而变化,本文将该评估价值定义为动态价值。动态价值不仅考虑了社会发展阶段不同可能导致人们对生态资产的支付意愿不同,而且考虑了资源稀缺程度不同可能导致生态资产受侵占的机会成本不同,因此,该模型能更加准确的计量人类行为对土地生态系统服务功能价值的影响。这种现实价值能使政策决策者更好的理解和权衡管理竞争性需求的环境资源。

2 土地生态系统服务功能价值估算方法的述评

2.1 估算方法分类

根据现有的研究成果总结归纳出目前较常用的土地生态系统服务功能价值估算方法:直接市场

法、替代市场法和模拟市场法^[14]。

2.1.1 直接市场法 直接市场法,是指对具有实际市场价格的土地生态系统产品和服务,直接以其产品和服务的市场价值作为该类土地生态系统服务功能经济价值的评估方法^[15,16]。该评估方法是从消费者角度出发,以人们对某种土地生态系统产品和服务的支出费用来表示其经济价值,主要适用于物质产品生产服务功能、信息服务功能和部分调节性服务功能的评估^[17];同时也适用于没有费用支出,但有市场价格的土地生态系统产品和服务的价值评估^[18]。直接市场法的基本步骤是:首先辨识特定研究区域的土地生态系统服务功能;其次是在获得各种功能类型对应的生物量或物质量的基础上,将其折算为相应的市场价值量;最后对各服务功能的市场价值进行线性加和,获得研究区域土地生态系统服务功能的经济总价值^[2,18]。现阶段常用的直接市场评估方法有市场价值法、费用支出法、恢复和防护成本法、影子工程法、替代工程法、碳税法、机会成本法、人力资本法等。如食物生产和原材料等可采用市场价值法。

2.1.2 替代市场法 替代市场法,是指没有实际市场价格的土地生态系统产品和服务,为了对其经济价值进行评估,可以利用替代市场技术,通过在市场上寻找一种与其使用价值相同的产品和服务,即等效替代物,作为该类土地生态系统服务功能经济价值的评估方法^[16,18-20]。替代市场法的基本步骤是:首先确定研究区域所要评价的土地生态系统服务功能;在获得各种功能类型对应的生物量或物质量的基础上,寻找能间接反映这些服务功能的商品和劳务,并用这些商品和劳务的价格来衡量研究区域该类土地生态系统服务功能的经济总价值。常用的替代市场法主要包括费用支出法、市场价值法、机会成本法、影子工程法、人力资本法、造林成本法、旅行费用法和享乐价值法等。如娱乐和休闲价值可采用旅行费用法和享乐价值法;湿地蓄水功能可采用影子工程法^[21];森林的固碳释氧功能可采用造林成本法。

2.1.3 模拟市场法 模拟市场法,是指不能以商品形式出现于市场的土地生态系统服务功能,为了获取该类土地生态系统服务功能的经济价值,有效的

方法是直接询问人们对该项土地生态系统服务提供的支付意愿。其代表方法是条件评估法或称意愿调查法和集体评价法。条件评估法可用于评价通过模拟市场体现的土地生态系统服务,首先通过不同状况的描述,然后进行社会问卷调查。如通过问卷调查询问居民对提高水质的支付意愿^[22]。通过意愿调查法进行评估的步骤如下:明确评价对象、确定调查范围、初步设计调查表、预调查、修正调查表、现场调查、数据汇总和结果分析^[19]。该方法曾应用于1600多项关于环境政策方面的研究中^[23],同时也广泛应用于关于土地生态系统服务功能价值的评估^[24]。集体评价法的基本思路是:通过不同的社会团体聚集到一起讨论土地生态系统服务功能的经济价值,保证讨论程序公平、公正、公开,使得土地生态系统服务功能价值的评价结果更具社会平等性和政治合理性,可以更好地用来指导环境政策的制定^[25]。如公园和河流的非使用价值可采用意愿调查法。

2.2 几种估算方法的对比

本文在广泛查阅相关文献的基础上^[2,14,26-28],从理论基础、评价对象、内容、时空尺度、适用性和主要方法等方面入手,对土地生态系统服务功能价值的3种主要评估方法进行系统的比较分析,结果如表1所示。

2.3 几种估算方法的局限性分析

2.3.1 评价的时效性问题 瞬时静态价值评估是当前土地生态系统服务功能价值3种评估方法的主要特征,这导致了评估的结论只具有即时效力或短暂效力,而对研究区域未来的生态与环境系统管理的指导作用在一定程度上被弱化^[2]。瞬时静态价值评估基本是以某个区域在某个时段的存量为主,不能反映社会发展水平和生态资源稀缺程度的变化而引起现实价值的变化^[9,27]。由于土地生态系统的动态性和复杂性,并且人类的偏好并不是静止不变的,偏好形成与自然、经济和社会有着密切的关系,使得在时空尺度上土地生态系统服务功能各组成部分之间经常为非线性关系,而在以往的研究中采用这些研究方法估算土地生态系统服务功能价值时大部分未考虑这些因素的影响,同时对所评价的土地生态系统服务功能及其与之相对应的市场价值之间的内在联系缺乏足够的了解^[29-31],经济、社会高速发展,使得这些评价结果的时效性受到影响。国外学者已经意识到这一点,并开始注重对土地生态系统服务功能价值综合动态评估模型的研究^[1]。我国今后对土地生态系统服务功能的研究需要通过建立长期定位观测站或进行模拟实验,通过情景分析和动态模型的模拟深入了解土地生态系统服务功能的内部机制和演变规律以及影响因素,构建

表1 土地生态系统服务功能价值3种主要评估方法的比较

Table 1 Comparison of the main three techniques for ecosystem service valuation

	直接市场法	替代市场法	模拟市场法
理论基础	基于生态系统服务的物质量;侧重生态学理论	基于生态系统服务的价值量;侧重经济学与生态学理论	基于支付意愿;侧重经济学理论
评价对象	直接使用价值、大部分间接使用价值	间接使用价值、部分非使用价值	非使用价值
评价内容	主要评价食物、原材料、气体调节、水源涵养、废物处理等服务功能	主要评价气候调节、气体调节、土壤形成与保护、废物处理、养分循环等服务功能	主要评价娱乐、美学、科教、精神、人文历史等服务功能
评价尺度	主要评价大尺度、多个生态系统、多项服务功能的经济价值	同直接市场法	主要评价小尺度、单个生态系统服务的总经济价值,对具体工程项目的评价具有优势
评价适用性	多参照 Costanza 等 ^[3] 、谢高地等 ^[6] 、欧阳志云等 ^[9] 的研究结果,再结合考虑研究区域的区位、资源稀缺性、土地生产力等具体的因素,则对研究区域的适用性较好	同直接市场法	基于研究区域的实际情况进行支付意愿的评价,评价结果具有针对性,对研究区域的适用性较高
评价方法	市场价值法、费用支出法、恢复和保护成本法、影子工程法、替代工程法、碳税法、机会成本法、人力资本法等	费用支出法、市场价值法、机会成本法、影子工程法、人力资本法、造林成本法、旅行费用法和享乐价值法等	意愿调查法、集体评价法、旅行费用法和享乐价值法等

2013年1月

把生态、经济与文化联系在一起的区域动态模型,对土地生态系统服务功能及其价值变化做出精确存量评价及未来预测。

2.3.2 评价的地域性问题 由于不同区域的社会经济发展水平、生态区位、自然条件、人类对土地生态系统服务功能的认知水平和对生态环境的干扰强度以及资源的稀缺程度不同,土地生态系统服务功能价值的空间异质性是价值评估中不容忽视的一个问题^[19]。郭中伟等^[32]就指出,土地生态系统中生物多样性的空间异质性是普遍存在的;同一类型的生态群落在空间上的生物量不同,提供的服务也不同,单位面积的土地生态系统服务功能价值也不同;相同的土地生态系统在不同的社会经济条件下,由于人的素质、收入和偏好等不同,会导致价值评估结果存在较大的差异;同时,公众的支付意愿受到区域传统文化的影响^[17]。因此,在对土地生态系统服务功能价值进行评估时,评价模型必须充分考虑其所处的区位条件、地理特征、气候特征、社会经济发展水平,找出影响土地生态系统服务功能的各种影响因素,并筛选出关键的因子作为评估时的变量或参数,这正是目前研究方法的不足之处。

3 研究区概况和数据来源

3.1 研究区概况

福州市位于福建省东部沿海闽江下游,介于北纬 $25^{\circ}15'-26^{\circ}39'$,东经 $118^{\circ}08'-120^{\circ}31'$ 。气候资源丰富,气温适宜,温暖湿润,四季常青,雨量充沛,霜少无雪,夏长冬短,无霜期达326天;年均日照数为1700~1980h;年均降水量为900~2100mm;年均气温为 $16\sim 20^{\circ}\text{C}$;年相对湿度约77%。福州市土地总面积12251km²,其中林地面积7032km²,占土地总面积的57.4%。福州市建成区土地总面积220km²,其中绿地面积81.2km²,绿地率达36.9%;绿化覆盖面积88.7km²,绿化覆盖率达40.3%;人均公园绿地高达11.2m²。曾荣获“全国文明城市”、“全国绿化模范城市”、“全国城乡绿化先进集体”、“国家卫生城市”和“中国优秀旅游城市”等光荣称号。

3.2 数据来源

本文所采用土地利用数据来源于福建省地质遥感与地理服务中心。该数据利用2009年SPOT5

遥感图像作为原始数据源,以研究区1:10万地形图、GPS点实地调查资料为辅助数据。处理软件为ERDAS IMAGINE 8.5,用于数字图像处理与几何校正;ArcGIS 9.0用于屏幕矢量化、面元拓扑关系建立及空间数据库建库,数据格式为Shapfile格式,包含土地利用一级类型8个,二级类型38个。根据研究目的及研究区实际,本文将土地利用类型进行相应归类合并,将原有的8个一级类型合并为7个,38个二级类型合并为14个。

福州市各县(市)区粮食产量和林分单位面积蓄积量来源于《福州年鉴2010》^[33];城镇化率、恩格尔系数和人口密度数据来源于《福州统计年鉴2010》^[34]。

4 土地生态系统服务功能价值动态估算模型的改进方法

4.1 土地生态系统服务功能价值基准价格

国内比较权威的研究结论当属谢高地等^[6]关于中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表,该研究成果得到了多数学者的认同,引用率也比较高,经CNKI网查询截止到2012年10月30日24点00分,该论文的被引用频次高达1145次。因此,本文也采用谢高地的研究成果作为土地生态系统基准价格的计算依据。

4.2 土地利用二级分类单位面积服务价值修正系数

在谢高地等^[6]的研究成果中对土地利用的分类采用我国土地利用分类系统中一级分类,实际上这些一级分类中包括多个二级分类,如林地又可分为有林地、灌木林、疏林地和其它林地4种二级分类,而这些二级分类土地利用类型的生态系统服务功能价值差异也比较大。为此,根据我国《土地利用现状分类标准 GB/T 21010-2007》,本文将耕地、林地、园地进一步细分至二级分类,其中耕地分为水田、水浇地和旱地3种二级分类;林地分为有林地、灌木林和其它林地3种二级分类;园地分为果园、茶园和其它园地3种二级分类。由于福州市草地类型较单一,因此不再细分,同时由于数据来源有限,水体、建设用地和未利用土地3种类型也不再细分。其中耕地、林地二级分类修正系数参照唐秀美等^[12]的研究成果。

对于园地二级分类的单位面积服务功能价值的修正系数采用专家咨询法。调查过程如下:以果园作为基准价格,设定其各项土地生态系统服务功能基准值为1,请专家依据此值判断茶园的修正系数,例如气体调节功能,果园为1,茶园的气体调节功能相对果园地可能大于1或者小于1,专家根据经验做出判断给出一个系数可大于1或小于1。在咨询时补充提供参考资料如下:根据《福州年鉴2010》^[33],果树面积4.47万hm²,产值11.0亿元;茶叶面积8333.33hm²,产值4.5亿元,可知茶园单位面积的产值是果园的2.2倍。得到以下结果:

(1)气体调节、气候调节、废物处理、生物多样性保护:这4种功能是果园大于茶园,专家对此的意见比较一致,因此综合专家的意见确定果园和茶园这4种功能的系数为1:0.8;1:0.6;1:0.5;1:0.4。

(2)水源涵养、土壤形成与保护:这2种功能茶园的大于果园,根据专家意见确定果园和茶园的系数为1:1.5;1:1.3。

(3)食物生产、原材料:专家建议这两种功能参照《福州年鉴2010》的数据略调低一些,因此,确定果园和茶园的食物生产、原材料系数为:1:2;1:2。

(4)娱乐文化:在果园和茶园之间并无太大差异,因此确定系数为1:1。

本文对其它园地的价值修正系数取茶园和果园的平均值。最终得到福州市主要土地利用类型的生态系统服务功能单位面积价值修正系数(表2)。则福州市的土地生态系统服务功能静态价值为各类土地利用类型服务价值之和,公式如下:

$$E = (1+r)^{t-t_0} \cdot \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^9 \sum_{n=1}^3 A_{in} m_{in} P_{ij} \quad (1)$$

式中 A_{in} 为第 i 类一级土地利用类型的第 n 类二级土地利用类型的面积; m_{in} 第 i 类一级土地利用类型的第 n 类二级土地利用类型的单位生态价值修正系数; P_{ij} 为谢高地等提出为 i 类土地 j 种服务功能的单位面积价值; $(1+r)^{t-t_0}$ 的作用是将谢高地等^[6]的中国陆地生态系统单位面积服务价值折现,其中 r 为贴现率,取10%; t 为评估年份; t_0 为基准年份,取制定中国陆地生态系统单位面积服务价值的年份2002年。

4.3 土地生态系统服务功能单位面积价值的确定

根据表2的修正系数以及中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表,经公式(1)计算可得到各土地利用类型的生态系统单位面积服务功能价值。其中建设用地气体调节的影响价值采用防治成本法测算,水源涵养的影响价值采用替代成本法测算,废物处理的影响价值采用防治成本法测算,气候调节、土壤形成与保护、生物多样性保护、原材料的影响取值为0^[7];园地取森林、草地的平均值;草地、水域和未利用地取难利用地(荒漠)对应的值折现,结果如表3所示。

4.4 土地生态系统服务功能动态价值估算模型的构建

4.4.1 空间异质系数 土地生态系统服务功能大小与其生物量有密切关系,不同区域土地生态系统服务功能价值也会随其生物量的变化而变化^[35]。由于林地和研究区域中占绝对优势,耕地也是主要的土

表2 土地利用类型单位面积服务价值修正系数

Table 2 Modify coefficient of static services value of different land use types

一级分类	二级分类	气体调节	气候调节	水源涵养	土壤形成与保护	废物处理	食物生产	生物多样性保护	原材料	娱乐文化
耕地	水田	2.0	2.0	0.5	1.5	0.8	1.5	0.5	1.0	1.0
	水浇地	1.2	1.5	0.8	1.8	1.3	1.3	0.6	1.0	1.0
	旱地	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
林地	有林地	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	灌木林	0.8	0.9	1.3	0.8	0.5	1.0	0.8	1.0	0.8
	其它林地	0.5	0.5	1.5	0.4	0.4	0.7	0.5	0.7	0.6
园地	果园	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	茶园	0.8	0.6	1.5	1.3	0.5	2.0	0.4	2.0	1.0
	其它园地	0.9	0.8	1.3	1.2	0.8	1.5	0.7	1.5	1.0

表3 福州市各土地利用类型的单位面积生态系统服务价值

Table 3 The unit area ecosystem service value of different land-use type in Fuzhou

(元/hm²)

一级 分类	二级 分类	气体 调节	气候 调节	水源 涵养	土壤形成 与保护	废物 处理	食物 生产	生物多样性 保护	原材料	娱乐 文化	总价值
耕地	水田	1724.22	3069.23	517.29	3776.32	2262.38	2586.63	612.09	172.46	17.15	1 4737.78
	水浇地	1034.53	2301.92	827.66	4531.59	3676.37	2241.75	734.51	172.46	17.15	1 5537.94
	旱地	862.11	1534.61	1034.57	2517.55	2827.98	1724.42	1224.18	172.46	17.15	1 1915.04
林地	有林地	6035.18	4655.68	5517.79	6724.83	2258.95	172.46	5621.27	4483.22	2207.12	3 7676.50
	灌木林	4828.14	4190.11	7173.13	5379.86	1129.48	172.46	4497.02	4483.22	1765.69	3 3619.11
	其它林地	3017.59	2327.84	8276.69	2689.93	903.58	120.72	2810.63	3138.25	1324.27	2 4609.51
园地	果园	3707.34	3103.82	3448.64	5043.67	2258.95	344.92	3750.40	2284.68	1138.05	2 5080.48
	茶园	2965.87	1862.29	5172.97	6556.77	1129.48	689.85	1500.16	4569.35	1138.05	2 5584.78
	其它园地	3336.60	2483.06	4483.24	6052.40	1807.16	517.38	2625.28	3427.01	1138.05	2 5870.19
草地		1379.50	1551.96	1379.50	3362.51	2258.95	517.38	1879.54	86.13	68.98	1 2484.46
水域		0.00	793.13	35141.61	17.15	3 1348.23	172.46	4293.61	17.15	7483.46	7 9266.80
建设用地		-648.67	0.00	-5770.62	0.00	-146.39	0.00	0.00	0.00	10.85	-6554.83
未利用土地		0.00	0.00	51.64	34.49	17.15	17.15	586.17	0.00	17.15	723.75

地利用类型,因此采用耕地和林地两者的生物量来共同构建空间异质系数,公式如下:

$$Q = \left(\frac{g}{G} + \frac{w}{W} \right) / 2 \quad (2)$$

式中 Q 为研究区空间异质系数; g 和 G 为研究区和全国平均粮食亩产量; w 和 W 为研究区和全国林分单位面积蓄积量。

4.4.2 社会发展系数 Wilson等^[22]指出人们对土地生态系统服务功能价值大小的认识是一个渐进的过程,与社会经济发展阶段关系密切,且随着社会经济发展水平的不断提高,人们对生态系统服务功能的支付意愿也会逐渐提高,前人提出社会发展阶段系数来解决这一问题^[36-37],社会发展阶段系数随社会经济发展水平的关系可用皮尔生长曲线模型表示^[10]:

$$l = \frac{L}{1 + e^{-\frac{1}{E_n}(l - 3)}} \quad (3)$$

式中 l 为与现实支付意愿有关的社会发展阶段系数; L 为极富阶段的支付意愿,取值为1; e 为自然对数; E_n 为恩格尔系数。

由于各区域的价格体系、福利补贴等方面差异较大,运用恩格尔系数反映社会发展阶段也可能产生误差,因此,本文引入城市化水平对社会发展阶段系数进行改进,改进后的公式如下:

$$l' = \frac{L}{1 + e^{-\frac{1}{E_n}(l - 3)}} \times \frac{u}{U} \quad (4)$$

式中 l' 为改进后的社会发展阶段系数; u 为研究区城镇化水平; U 为全国平均城镇化水平。

假设中国陆地生态系统单位面积服务价值当量因子表提出的当年,人们对土地生态系统的产品功能与服务功能的支付意愿是没有差别的,社会发展系数构建如下^[8]:

$$D = \frac{l'}{\text{研究区}} / \frac{l'}{\text{全国平均}} \quad (5)$$

式中 D 为研究区的社会发展系数。

4.4.3 资源稀缺系数 资源稀缺度是反映某区域在经济、社会 and 环境的可持续发展过程中生态资源需求量与供给量之间的关系,生态资源存量越小,需求量越大,稀缺度就越高,则人们对单位生态资源的支付意愿越大,生态系统服务功能价值越大。由于同一区域的自然地理条件较接近,其土地利用结构特征较接近,如本文区各县(市)区均以林地占绝对优势,因此不同县(市)区的平均单位面积生态系统功能静态价值的差异不大,这直接导致某个县(市)区生态资源的稀缺程度取决于当地的人口密度,同时由于土地生态系统的服务对象是人,鉴于此,本文决定采用人口密度指标构建资源稀缺系数。由于不同县(市)区之间人口密度相差高达十几倍,为了不使该系数对土地生态系统服务功能价

值评估结果造成太大的差异,因此本文采用人口密度的对数构建资源稀缺系数,计算公式如下:

$$S = \frac{\log p}{\log P} \quad (6)$$

式中 S 为研究区资源稀缺系数; p 和 P 分别为研究区和全国平均人口密度。国务院新闻办公室发布的《中国的人力资源状况》白皮书数据显示,截至2009年底,中国总人口达到13 3474万人(不含香港、澳门特别行政区和台湾省),计算得到中国平均人口密度为139人/km²。

4.4.4 土地生态系统服务功能动态价值估算模型
考虑了空间异质系数、社会发展系数和资源稀缺系数后,研究区 t 阶段土地生态系统服务功能的动态价值为:

$$E_t = Q \cdot D \cdot S \cdot (1+r)^{t-t_0} \cdot \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^9 \sum_{n=1}^3 A_{in} m_{in} P_{ij} \quad (7)$$

5 土地生态系统服务功能动态价值估算模型的应用

5.1 福州市土地生态系统服务功能静态价值及其空间分布

根据公式(1)计算得到2009年福州市各土地利用类型的生态系统服务功能静态价值为389.48亿元(表4),相当于当年国内生产总值(GDP)2636.49亿元的14.77%。据有关研究^[38-40],全国平均(1994年)、深圳市(2004年)和厦门市(2007年)的土地生态系统服务功能价值分别只占同年GDP的1.73%、0.70%和2.80%。这主要是由于研究区单位面积服

务价值高的林地面积较大,占土地利用总面积的比例高达51%。

从土地生态系统服务功能构成来看,水源涵养功能居首位,占总服务功能静态价值的21.61%;废物处理功能居第二(15.63%);土壤形成与保护功能紧跟其后(13.62%);其他依次为生物多样性保护功能(11.92%)>气体调节功能(11.24%)>气候调节功能(9.78%)>原材料功能(8.29%)>娱乐文化功能(6.48%)>食物生产功能(1.43%)。

从生态系统服务功能静态价值的空间分布看(图1),福州市各县(市)区价值由大到小依次为:永泰县>福清市>闽侯县>闽清县>连江县>罗源县>市区>长乐市>平潭县。其中永泰县的土地生态系统服务功能静态价值相当于该县当年国内生产总值(GDP)的119.38%,闽清县的也为该县国内生产总值(GDP)的62.28%,而市区的只占本区国内生产总值(GDP)的2.17%。究其原因:一方面是由于市区、长乐市和福清市等区域的GDP总量较大,如市区的GDP分别为永泰县和闽清县的21.56倍和18.00倍;另一方面是由于市区、长乐市和福清市等区域工商业发达以及人口密集,侵占了大量的生态用地。而人均占有土地生态系统服务功能静态价值的空间分布特征为:永泰县>闽清县>罗源县>闽侯县>连江县>福清市>平潭县>长乐市>市区(表5),其中低于全市平均水平的有福清市、平潭县、长乐市和市区,各县(市)区间人均占有价值量相差较大,最大相差25倍,最小相差近3倍。

表4 2009年福州市各土地利用类型的生态系统服务功能静态价值

Table 4 The ecosystem static service value of different land-use type in 2009 in Fuzhou

(亿元,%)

县(市)区	气体调节	气候调节	水源涵养	土壤形成与保护	废物处理	食物生产	生物多样性保护	原材料	娱乐文化	总价值	占GDP比例
市区	3.22	2.80	5.70	3.96	4.72	0.29	3.57	2.51	2.00	28.78	2.17
福清市	3.98	4.10	19.73	5.34	17.53	1.02	5.92	2.82	4.96	65.40	15.90
长乐市	1.62	1.69	5.01	2.26	4.72	0.47	2.04	1.13	1.42	20.36	7.99
闽侯县	8.43	7.20	12.18	10.11	7.83	1.01	8.34	6.16	3.93	65.18	33.10
连江县	4.11	3.68	11.24	5.00	8.43	0.56	4.71	3.12	3.03	43.89	27.82
罗源县	4.39	3.67	6.70	5.18	3.87	0.47	4.31	3.32	2.05	33.95	43.04
闽清县	6.56	5.46	7.91	7.65	4.02	0.67	6.20	4.87	2.63	45.95	62.28
永泰县	10.88	8.84	11.73	12.69	6.10	0.87	10.27	7.94	4.23	73.54	119.38
平潭县	0.58	0.65	3.98	0.87	3.69	0.20	1.07	0.43	0.97	12.43	16.89
合计	43.76	38.09	84.18	53.06	60.89	5.57	46.42	32.30	25.22	389.48	14.77

2013年1月

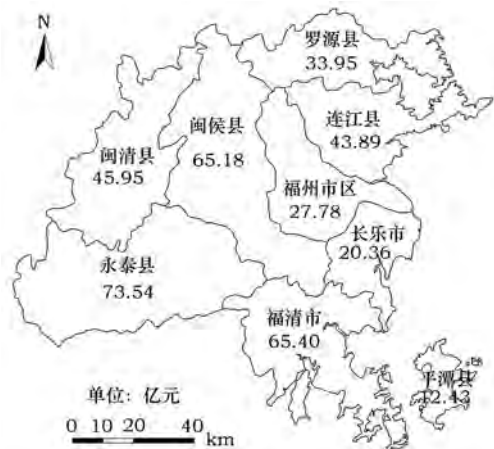


图1 福州市2009年土地生态系统服务功能静态价值空间分布

Fig.1 Spatial distribution of ecological static service values in Fuzhou in 2009

平均单位土地面积生态系统服务功能静态价值的空间分布为:连江县>福清市>永泰县>平潭县>罗源县>闽清县>闽侯县>市区>长乐市(表5),但它们之间数值相差不大,介于(2.81~3.50)万元/hm²之间。

以上利用静态估算方法计算得到的福州市各县(市)区土地生态系统服务功能静态价值空间分布情况,只能说明各县(市)区的土地利用类型比例分配问题,单位面积土地生态系统服务功能价值高的用地类型所占比例高,其土地生态系统服务功能静态总价值和平均单位面积土地生态系统服务功能静态价值就高,如福清市水域占该市土地利用总面积的比例为13%、且林地也占30%以上,因此福清市的土地生态系统服务功能静态价值最大;但不能反映各区域的土地生产能力差异,更不能反映人们的支付意愿;人均占有土地生态系统服务功能静

态价值在一定程度上反映了生态资源的稀缺程度,但并不能反映资源稀缺程度对土地生态系统服务市场价值的影响,违背了“物以稀为贵”的市场定律。因此,有必要对静态估算方法进行改进。

5.2 福州市土地生态系统服务功能动态价值及其空间分布

根据公式(3)–公式(6)计算得到空间异质系数 Q 、社会发展系数 D 和资源稀缺系数 S (表6)。从空间异质系数 Q 值分布情况看,福州市各县(市)区的值均低于全国平均值,说明研究区土地生产力较低,由高到低依次为:闽侯县>市区>闽清县>永泰县>福清市>长乐市>连江县>罗源县>平潭县。从社会发展阶段系数 l 值的分布情况看,平潭县系数最大,长乐市和福清市紧随其后,而市区的 l 值却较小,明显不符合客观事实,鉴于此,本文应用城镇化水平对之进行改进,改进后的结果表明市区的 l' 值最大,平潭县的次之;沿海县(市)或靠近市区的县(市)该系数较大,如长乐市、福清市、闽侯县等,而山区县(市)或远离市区的县(市)该系数较小,如永泰县、闽清县等,表明改进后的结果较合理。从资源稀缺系数 S 值的分布情况看,市区的资源稀缺度最高(其值为1.60),其次为长乐市(1.41)、平潭县(1.40)、福清市(1.36)、连江县(1.25)等,均高于全国平均水平;而资源稀缺度最低的为永泰县(0.97),低于全国平均水平。

经计算得到2009年福州市土地生态系统服务功能动态价值为270.32亿元,为土地生态系统服务功能静态价值的0.69倍。从福州市土地生态系统服务功能动态价值的空间分布看(图2),各县(市)区由大到小依次为:市区>闽侯县>福清市>永泰县>连江县>闽清县>长乐市>罗源县>平潭

表5 福州市各县(市)区的土地生态系统服务功能价值

Table 5 The ecosystem service value of different counties in Fuzhou

县(市)区	市区	福清市	长乐市	闽侯县	连江县	罗源县	闽清县	永泰县	平潭县	合计
静态价值(亿元)	28.78	65.40	20.36	65.18	43.89	33.95	45.95	73.54	12.43	389.48
动态价值(亿元)	68.94	48.21	16.03	50.72	21.11	12.47	18.89	25.27	8.68	270.32
单位面积静态价值(万元/hm ²)	2.81	3.44	2.80	3.07	3.50	3.09	3.08	3.30	3.16	3.18
人均静态价值(万元/人)	0.11	0.54	0.30	1.02	0.80	1.70	1.91	2.72	0.35	0.57
单位面积动态价值(万元/hm ²)	6.72	2.54	2.20	2.39	1.68	1.13	1.26	1.13	2.21	2.21
人均动态价值(万元/人)	0.25	0.40	0.23	0.79	0.38	0.62	0.79	0.94	0.24	0.39

表 6 土地生态系统服务功能价值动态估算方法改进系数

Table 6 The correction coefficient of dynamic ecosystem service value

县(市)区	粮食产量 (t/hm ²)	林分单位 面积蓄积量 (m ³ /hm ²)	城镇化率 (%)	恩格尔 系数	常住人口 密度 (人/km ²)	<i>Q</i>	<i>l</i>	<i>l'</i>	<i>S</i>
市区	5.56	59.55	96.39	0.46	2598	0.91	0.30	0.63	1.60
福清市	5.35	38.40	38.80	0.44	797	0.76	0.33	0.27	1.36
长乐市	5.45	35.10	38.90	0.43	1049	0.75	0.34	0.28	1.41
闽侯县	5.48	70.20	39.40	0.45	300	0.96	0.31	0.27	1.16
连江县	4.70	40.65	34.70	0.49	471	0.71	0.28	0.21	1.25
罗源县	4.83	22.50	33.30	0.46	168	0.62	0.30	0.22	1.04
闽清县	4.99	54.15	29.20	0.47	164	0.82	0.29	0.18	1.03
永泰县	5.38	40.95	29.00	0.49	120	0.78	0.28	0.17	0.97
平潭县	4.57	22.05	33.90	0.36	970	0.59	0.44	0.32	1.40
全国平均	4.97	85.95	46.60	0.40	139	1.00	0.38	0.38	1.00

注:粮食产量、林分单位面积蓄积量数据来源于《福州年鉴2010》;城镇化率、恩格尔系数和常住人口密度数据来源于《福州统计年鉴2010》。

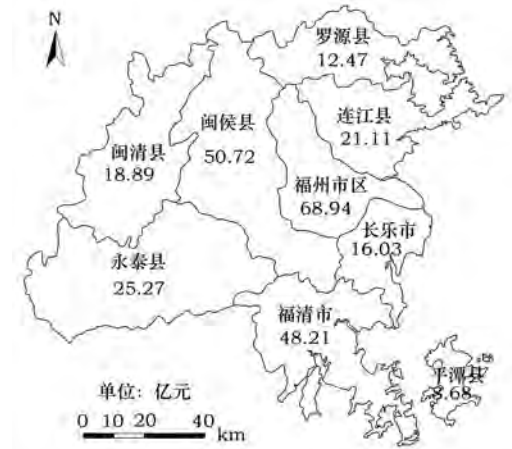


图2 福州市2009年土地生态系统服务功能动态价值空间分布
Fig.2 Spatial distribution of ecological dynamic service values
in Fuzhou in 2009

县。与土地生态系统服务功能静态价值相比,市区增加的幅度最大,其值为后者的2.40倍;而永泰县降低的幅度最大,其值只有后者的0.34倍;罗源县降低的幅度也较大,其值只有后者的0.37倍。平均单位面积土地生态系统服务功能动态价值的空间分布为:市区>福清市>闽侯县>平潭县>长乐市>连江县>闽清县>永泰县=罗源县;而人均生态系统服务功能动态价值的空间分布为:永泰县>闽清县=闽侯县>罗源县>福清市>连江县>市区>平潭县>长乐市(表5)。

以土地生态系统服务功能价值动态估算方法得到的福州市各县(市)区服务功能价值为因变量,

分别以各县(市)区的空间异质系数*Q*、社会发展系数*D*和资源稀缺系数*S*为变量进行线性回归分析,结果表明各相关系数分别为0.48、0.98和0.80,说明研究区土地生态系统服务功能动态价值与空间异质系数、社会发展系数和资源稀缺系数关系密切,可反映三者的变化情况,尤其是经改进后的社会发展系数以及利用常住人口密度作为资源稀缺系数可很好地反映各县(市)区土地生态系统服务功能动态价值变化趋势。

6 结论与讨论

(1)本文根据改进后的动态估算模型对福州市土地生态系统服务功能价值的计算结果表明:与静态价值对比,市区的增加幅度最大,其值为后者的2.40倍;而永泰县降低的幅度最大,其值只有后者的0.34倍;罗源县降低的幅度也较大,其值只有后者的0.37倍。这主要由于在市区的土地利用类型中,建设用地的比重较大而林地、耕地等比重较小,导致了其平均单位面积土地生态系统服务功能静态价值较小,然而市区所在地地势平坦、土壤肥沃、水热充足,因此其土地生产力较高,同时由于其城市化水平高、人口密度大,使得其平均单位面积土地生态系统服务功能动态价值最大;而永泰县和罗源县等县(市)区的资源稀缺度低,导致其平均单位面积土地生态系统服务功能动态价值较小。单位面积土地生态系统服务功能动态价值空间分布呈

2013年1月

现出沿海地区高、山区低的格局,且随着与市中心距离的增加而呈现出近似递减的规律,这与地价级差的规律不谋而合,这说明改进后的土地生态系统服务功能动态价值估算模型所获得的评价结果可以充分表征生态资源相对重要性程度的意思。动态价值是为了区分不同区域对土地生态系统服务的利用价值的差异^[9],不同区域对相同土地利用类型生态系统服务功能价值的利用效率是不同的,研究结果对于制定研究区土地利用规划策略具有重要的实际应用价值和指导意义。如,位于闽江下游的福州市区、长乐市和平潭县生态系统更加脆弱,维持其生态系统的产品和服务功能对整个流域至关重要,人们对该区域生态资源的需求更大,相同类型的土地单位面积的生态价值比永泰县、闽清县等较上游区域更为重要,因此在今后的建设过程中不仅应注意保护现有的生态用地,而且应该通过土地利用规划适当提高生态用地的数量和质量;而位于闽江较上游的永泰县、闽清县和罗源县自然条件优越、资源丰富,生态系统稳定性较高,今后的重点是在保护自然资源的基础上,充分进行开发和利用,让更多的人享用该区域的生态资源,发挥其应有的价值。

(2)在前人的研究基础上,结合生态价值理论,构建了土地生态系统服务功能价值动态评估模型,模型中包含了空间异质系数、社会发展系数和资源稀缺系数,可以较准确地反映相同土地利用类型单位价值随区域的不同而产生的差异;随不同社会发展阶段的人们对土地生态系统服务功能的认知程度及支付意愿不同而产生的差异;随着自然资源的产品与服务功能可获得程度不同而产生的差异。在栗晓玲等^[9]构建的生态系统服务功能价值动态估算方法中,以恩格尔系数代表社会发展阶段、以生态需水量与实际生态用水之比代表资源稀缺程度,在实际应用过程中存在一定的局限性。如在本研究中,如果仅利用恩格尔系数计算得到的社会发展阶段系数结果是平潭县最大,而最发达的市区却较小,与事实不符。这是由于不同区域间住房、医疗、交通等方面的补贴标准不一样,福利制度以及消费习惯等也存在差异,因此使用恩格尔系数来衡量社会发展阶段有可能会产生误差。为此,本文提出应

用城镇化水平对之进行改进,如公式(4)所示,改进后结果更加符合客观事实。同时,与水资源是干旱区生态系统的关键因子情况不同,本研究区域水资源相对丰富,故采用生态用水来衡量资源稀缺程度意义不大。为此,本文提出采用相对人口密度来衡量研究区域的资源稀缺程度,人口密度越大,需求量越大,资源稀缺度越高,人们对单位生态用地的支付意愿就越大,则生态服务价值就越大。改进的动态估算模型将土地生态系统服务功能价值放在自然、社会和经济的综合系统中进行评估,考虑了时间、空间和质量因素对土地生态系统服务功能价值的影响^[8],为完善土地生态系统功能价值的综合评估做出了有益探讨。

(3)值得注意的是,目前大部分的研究在参照Costanza等^[3]或谢高地等^[6]的研究成果核算土地生态系统服务功能价值时,均直接采用前人研究成果中的单位面积服务价值^[12],忽略了通货膨胀的存在,造成估算结果偏小。石焱等^[41]在核算中国陆地生态系统服务功能价值时,采用基于中国历年CPI指数变化对生态系统服务功能价值进行修正。本文则采用折现率对研究区土地生态系统服务功能价值进行修正,使评价结果更加合理。

(4)尽管本文为土地生态系统服务功能价值核算方法的改进提供了一种新的思路,但部分系数和参数仍然具有一定的随意性和主观性,如采用人口密度衡量资源稀缺程度,仅适用于自然地理区位条件较接近的区域之间进行的比较;估算模型只选取空间异质性、社会发展阶段和资源稀缺性3个因素作为修正系数,而未考虑社会经济生态协调系数^[11]、生态区位^[12]等因素对土地生态系统服务功能价值的影响。与传统的静态价值相比,动态价值用于城市化过程中建设用地征地补偿的核算更加合理;然而,对于整个流域而言,某些服务功能(如水源涵养、生物多样性保护等)的提供者与使用者或受益者存在空间上的分离^[42],此时,应用动态价值制定生态补偿标准将对流域中上游山区不利。因此,对土地生态系统服务功能价值评价结果的有效检验,进而提高其科学性和可靠性;如何把生态服务价值转化为现实的货币价值,直接指导政府的管理决策仍然是今后研究的重点和难点。

参考文献(References):

- [1] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.
- [2] 赵军, 杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 346-356.
- [3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [4] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [5] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [6] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [7] 胡喜生, 洪伟, 吴承祯. 福州市土地生态系统服务功能价值的评估[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(12): 90-94.
- [8] 石晓丽, 王卫. 生态系统功能价值综合评估方法与应用[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3998-4006.
- [9] 栗晓玲, 康绍忠, 佟玲. 内陆河流域生态系统服务价值的动态估算方法与应用[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 2011-2019.
- [10] 李金昌. 生态价值论[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
- [11] 宋佳楠, 梅建屏, 金晓斌, 等. 基于协调系数修正的区域生态系统服务价值测算研究[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(1): 86-89.
- [12] 唐秀美, 陈百明, 路庆斌, 等. 生态系统服务价值的生态区位修正方法[J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3526-3535.
- [13] 张耀启, 李一清, 潘羿. 自然与环境资源价值评估的误区[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 453-460.
- [14] 刘玉龙, 马俊杰, 金学林, 等. 生态系统服务功能价值评估方法综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(1): 88-92.
- [15] 江波, 欧阳志云, 苗鸿, 等. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2236-2244.
- [16] 程琳, 李锋, 邓华锋. 中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6194-6203.
- [17] Ellis G M, Fisher A C. Valuing the environment as input[J]. *Journal of Environmental Management*, 1987, 25: 149-156.
- [18] 李波, 宋晓媛, 谢花林, 等. 北京市平谷区生态系统服务价值动态[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2251-2258.
- [19] 李文华, 欧阳志云, 赵景柱. 生态系统服务功能研究[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [20] 苏美蓉, 杨志峰, 张迪. 城市生态系统服务功能价值评估方法初探[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(7): 52-55.
- [21] 董雪旺, 张捷, 刘传华, 等. 条件价值法中的偏差分析及信度和效度检验[J]. 地理学报, 2011, 66(2): 267-278.
- [22] Wilson M A, Carpenter S R. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States 1971-1997[J]. *Ecological Applications*, 1999, 9(3): 772-783.
- [23] Gregory R. Identifying environmental values[A]. In: Dale V H, English M R (eds). *Tools to Aid Environmental Decision Making* [M]. New York: Springer Verlag New York Inc, 1999.
- [24] 赵军, 杨凯, 邵俊, 等. 上海城市河流生态系统服务的支付意愿[J]. 环境科学, 2005, 26(2): 5-10.
- [25] 杨光梅, 李文华, 闵庆文. 生态系统服务价值评估研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 205-212.
- [26] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 5-9.
- [27] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 城市化对流域生态系统服务价值空间异质性的影响[J]. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1715-1725.
- [28] Farber S, Costanza R, Childers D L, et al. Linking ecology and economics for ecosystem management[J]. *BioScience*, 2006, 56(2): 117-129.
- [29] Daily G C, Soderquist T, Aniyar S, et al. The value of nature and the nature of value[J]. *Science*, 2000, 289: 395-396.
- [30] Spash C L. The Concerted Action on Environmental Valuation in Europe (EVE): An Introduction Environmental Valuation in Europe (EVE) [R]. Cambridge Research for the Environment, U K, 2000.
- [31] Sagoff M. Aggregation and deliberation in valuing environmental public goods: a look beyond contingent valuation[J]. *Ecological Economics*, 1998, 24: 213-230.
- [32] 郭中伟, 甘雅玲. 关于生态系统服务功能的几个科学问题[J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 63-69.
- [33] 《福州年鉴》编纂委员会. 福州年鉴 2010[M]. 北京: 方志出版社, 2010.
- [34] 福州市统计局. 2010 福州统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [35] 李博, 杨持, 林鹏. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [36] 栾维新, 崔红艳. 基于 GIS 的辽河三角洲潜在海平面上升淹没损失评估[J]. 地理研究, 2004, 23(6): 805-814.
- [37] 肖杨, 毛显强, 袁达, 等. 水环境退化经济损失的计量方法及其应用[J]. 环境科学研究, 2006, 19(6): 127-130.
- [38] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.
- [39] 李文楷, 李天宏, 钱征寒. 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 440-446.
- [40] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响[J]. 地理学报, 2010, 65(6): 708-714.
- [41] 石磊, 王如松, 黄锦楼, 等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析[J]. 科学通报, 2012, 57(9): 720-731.
- [42] 郑海霞, 张陆彪, 涂勤. 金华江流域生态服务补偿支付意愿及其影响因素分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 761-767.

An Improved Dynamic Evaluation Model and Land Ecosystem Service Values for Fuzhou City

HU Xisheng¹, HONG Wei², WU Chengzhen²

(1. Urban Planning Department, University of Fujian Agriculture and Forestry, Fuzhou 350002, China;

2. Research Institute of Forest Ecology, University of Fujian Agriculture and Forestry, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Ecosystem services refer to the goods and services that ecosystem provide to us. They can be used to evaluate environmental quality and provide scientific evidence in decision making. Many evaluations of ecosystem services have been done, but the integrated impacts of temporal, spatial, and social factors on the estimation methods of ecosystem service values are rarely considered. Here, estimation methods of ecosystem service values are summarized and classified. According to our review, we suggest that spatial heterogeneity, social development level and resource scarcity be taken into account in ecosystem service evaluation models. We therefore develop an improved dynamic evaluation model including these three coefficients and apply it to Fuzhou. The ecological functions and ecosystem service values of each county were assessed using the Costanza method and our improved method. We refer to ecosystem service values from the Costanza method as ‘static’ values, and from our improved method as ‘dynamic’ values. The results show that the annual static value of land ecosystem services in the city is 38.948 billion CNY, equal to 14.77% of local GDP in 2009; the annual dynamic value is 27.032 billion CNY, equal to 10.25% of the local GDP in 2009. Among the nine administrative districts, the unit area dynamic value of urban area is the highest. This pattern is different from the static values, but the rank of the unit area dynamic value in the nine administrative districts is in line with the ranking of land price. The application of our model shows that it provides timely, exact and helpful information when making decisions concerning ecosystem conservation and social development. This new model will have practical significance for ecosystem construction and environmental protection.

Key words: Fuzhou City; Land ecosystem services; Dynamic value model; Engel's coefficient; Population density