

基于高程约束的区域LUCC及其生态效应研究 ——以福州市为例

李名勇^{1,2}, 晏路明³, 王丽丽¹, 林志垒³

(1.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2.中国科学院研究生院,
北京 100049; 3.福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要:以福州市5区7县(不包括平潭县)为研究区,以1994~2006年间3期遥感影像解译分类获得的土地利用/覆被数据为基础,并构建个性化的生态系统服务价值与生态效应测算模型,对研究区高程约束下的土地利用/覆被变化(LUCC)及其生态效应进行分析。研究结果表明:① 耕地、建设用地和未利用地的变化集中于第1级,园地的变化集中于第4、5级,水域和草地的变化集中于第3、2级,林地的变化集中于第1、3、4级。② 各高程等级的生态系统服务价值量均增加。各高程等级LUCC的生态效应指数与模数大致随高程等级增加而减小。

关键词:LUCC; 高程约束; 生态服务价值; 生态效应; 福州市

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1000-0690(2013)01-0075-08

土地利用/覆被变化(LUCC)研究是全球变化及其区域响应研究的核心领域,研究LUCC及其生态环境效应有助于提高人们对区域生态环境问题的认识,并可为有关部门的土地利用规划、管理与决策提供科学依据。在LUCC研究方面,以往对LUCC的研究^[1-9]多集中于对区域土地利用/覆被总体的时间变化及区域内的二维平面空间分异的分析,对不同高程条件约束下的土地利用/覆被分布特征及其动态变化规律的研究还较少见。

在反映LUCC生态效应的研究方法方面,以往研究^[10-14]大多直接套用谢高地等人基于全国尺度的“中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表”以构建典型的生态系统服务价值测算模型,而未考虑较小尺度区域的特殊情况,且未对生态效应的“效率”涵义加以界定和刻画。本研究拟对多种研究方法进行改进与集成:① 对典型生态系统服务价值测算模型进行改进,引入特殊的区域空间参数和时间参数,以建立针对研究区各个具体时段的改进型生态系统服务价值测算模型。

② 构建“生态效应指数”与“生态效应模数”指标,测算研究区LUCC的生态效应。③ 借助RS手段完成对研究区土地利用/覆被类型的识别;借助GIS手段完成各高程因子的提取及等级划分。集成以上研究,完成高程条件约束下的区域LUCC及其生态效应研究。

福州市地处中国东南沿海,地貌格局复杂多样,在经济持续高速发展背景下,土地利用/覆被发生急剧变动,使之成为研究不同高程条件约束下的LUCC及其生态效应的分异规律,且可为该区域有关部门的土地利用规划和管理提供针对性强的科学依据。

1 数据处理与研究方法

1.1 数据源及数据处理

考虑到影像数据的可获取性及影像应具有较高的质量(图像云量少且清晰完整),本研究采用

收稿日期:2012-02-28; **修订日期:**2012-05-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB421307)、国家自然科学基金项目(03BTJ004)、福建省自然科学基金项目(2011J01265)资助。

作者简介:李名勇(1984-),男,江西抚州人,博士研究生,主要从事土地利用/覆被变化、全球环境变化与树轮气候研究。E-mail: limy.11b@igsrr.ac.cn; limingyong000000@126.com

通讯作者:王丽丽,研究员。E-mail: lilywang15@yahoo.ca

了以下影像数据:研究区1994年5月12日和2006年11月5日两个时相的TM影像,以及2001年3月4日的ETM+影像。在土地利用/覆被类型划分方面,为便于与后面的生态系统服务价值分析中采用的生态系统类型衔接,采用《土地利用现状调查技术规程》中的土地利用分类标准,并根据研究区的实际情况,将土地利用/覆被类型划分为林地、草地、耕地、园地、建设用地、水域和未利用地等7类,其中6类与生态系统类型的对应关系为:林地—森林、草地—草地、耕地—农田、建设用地和未利用地—荒漠、水域—水体,而园地则是另增列的,其单位面积生态系统服务价值量可根据专家经验取森林与草地的平均值。

本研究的数据处理过程如下:① 利用 Erdas

Imagine 9.1、ENVI4.1等RS软件对影像进行融合、校正、裁剪和波段组合等预处理。② 在ENVI4.1软件平台上采用决策树分类方法对影像进行解译分类获得土地利用/覆被数据(图1)。在该过程中,还根据遥感影像上的地物判读颜色,参考研究区有关年份的土地利用现状图,并结合实地调查,对各期影像的解译分类结果进行多次调整,直至反映解译分类效果的有关指标达到要求——总体精度>80%且Kappa系数>0.8。③ 利用ArcGIS9.2、ArcView3.3等GIS软件将影像分类结果转成栅格格式图像,并将其与由DEM数据生成的高程分级栅格数据进行空间叠加运算,获得不同时期不同高程条件下的土地利用/覆被类型分布数据,为土地利用/覆被变化及其生态效应在高程约束下的动

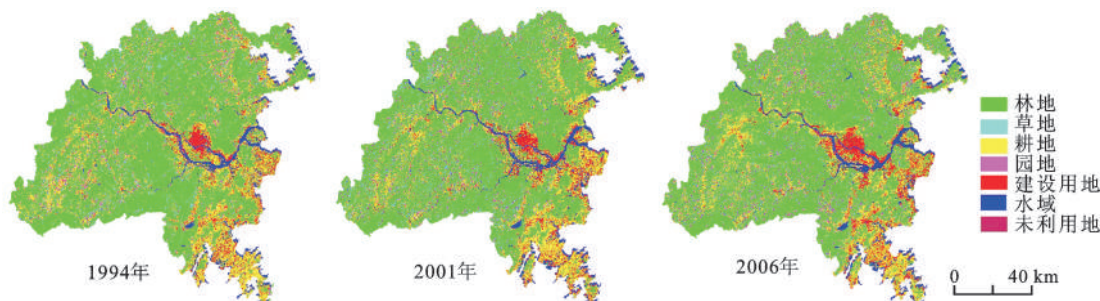


图1 研究区3期遥感影像分类

Fig.1 The land use from three remote sensing images in study area

态变化特征的分析提供基础数据。

在高程分级方面,根据数据变化特点及深入刻画低海拔高程条件下LUCC的需要,对DEM数据中的高程数据做了以下分级:第1级[-0.04 m, 50 m)、第2级[50 m, 100 m)、第3级[100 m, 200 m)、第4级[200 m, 500 m)、第5级[500 m, +∞)(图2)。

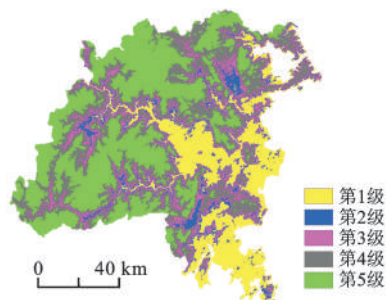


图2 研究区高程分级

Fig.2 The elevation classification of study area

1.2 研究方法

1) 生态系统服务价值测算模型。Costanza等1997年在《自然》杂志上发表“全球生态系统服务价值和自然资本”一文^[15],其研究使生态系统评估的原理及方法从科学意义上得以明确,从而为后来在全球各地开展的生态系统服务价值研究提供有意义的借鉴。该研究在对全球生态系统服务价值进行评估时采用如式(1)所示的评估模型。

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_i E_{ij} \quad (1)$$

式中, V 为生态系统服务总价值, A_i 为*i*类生态系统的面积, E_{ij} 为*i*类生态系统的*j*项生态系统服务单价, m 为生态系统类型总数, n 为生态系统服务类别总数。

虽在生态系统服务价值评估方面取得重大突破,但许多研究实践表明该研究也存在一些不足。针对Costanza等人研究的优、缺点,谢高地等

人^[16]根据中国的实际状况和基于对 200 多位生态学者的问卷调查,提出针对中国实际状况的生态系统服务价值评估体系,并制作了中国陆地生态系统生态服务价值当量因子表。

鉴于 Costanza 等人的研究和谢高地等人的研究针对的分别是全球和全国某个时期的平均状况,尽管他们的研究为其他尺度区域或其他时期的相关研究提供了有益的参考,但若仅是简单地直接照搬套用,则其研究结论可能会与实际存在较大偏差。因此,在研究较小尺度区域的生态服务价值时,还应根据具体区域及具体时期的实际状况,构建更为适合的评估模型。本研究在参照 Costanza 与谢高地等人研究的基础上,对其模型进行了涉及区域差异和时间差异的系数修正,提出区域农田食物生产单价系数和区域服务支付系数,以建立针对本研究区的改进型生态服务价值测算模型。

(1) 区域农田食物生产单价系数(E_a)。谢高地等人制作的当量因子表^[16]是以全国平均的农田生态系统某个时期的天然食物生产率为基准确定,鉴于农田生态系统通常处于耕作状态,且其食物生产率亦随时间而变动,故对其应用需引入新的校正系数。根据谢高地等人对当量因子的具体解释,给出某个时期 a 区域的农田食物生产单价系数(E_a)计算公式。

$$E_a = Qq/7 \quad (2)$$

式中, Q 、 q 分别为某个时期 a 区域的粮食平均价格和平均单产,而分母 7 则意指农田生态系统的天然食物生产率仅相当于耕作状况下的粮食生产率的 1/7。 E_a 系数引入,可使式(1)得到区域差异订正及一定程度的时间差异订正。

根据式(1)采集有关年份的粮食平均价格(Q)^[17, 18]及研究区粮食单产(q)^[19]的数据,可计算出针对研究区 1994 年、2001 年和 2006 年的农田生态系统食物生产的生态服务价值系数 E_a 分别为 857 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)、799 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)和 1 135 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)。与谢高地等人得出的全国平均的农田食物生产单价系数值(885 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$))相比,研究区 1994 和 2001 年两期的数值偏小,2006 年的数值偏大。本研究得出的结果更加符合研究区的实际情况, E_a 系数引入的作用由此得到体现。

(2) 区域服务支付系数(T_a)。生态系统服务价值评估是一种人为意愿的表达,是随着支付意愿的发展而发展的动态价值,故以往的生态系统

服务价值评估多将人的支付意愿视为常量有失偏颇。在参照有关文献的基础上^[20],可采用社会发展阶段系数 l_a (式 3)来构建针对某个时期 a 区域的服务支付系数 T_a (式 4),以期进一步体现具体区域的单位面积生态系统服务价值随时间变化的特征。

$$l_a = l_0/[1 + e^{-(1/E_a - 3)}] \quad (3)$$

式中, l_0 为理想阶段的社会发展系数值(通常取 1), E_a 为某个时期 a 区域的恩格尔系数。

$$T_a = \begin{cases} 1, \dots & (\text{当生态系统服务为实物产品时}) \\ l_a/l, \dots & (\text{当生态系统服务为非实物产品时}) \end{cases} \quad (4)$$

式中, l_a 为某个时期 a 区域的社会发展阶段系数值,1 为谢高地等人提出当量因子表当年的全国平均的社会发展阶段系数值。 T_a 系数引入,使式(1)得到时间差异订正及一定程度的区域差异订正。

通过 T_a 系数引入前、后研究区各个时期单位面积生态系统服务价值(限于篇幅,结果未列出)的对比可知,各种生态系统单位面积生态服务价值在 T_a 引入前表现为先减后增,而在 T_a 引入后表现为持续上升。由此表明,随着社会经济发展和人民生活水平提高,人们对生态系统提供的非实物产品的功效日益重视,对其服务的支付意愿也不断上升,引入该系数的重要意义由此得到较好体现。

(3) 研究区生态系统服务价值测算模型的构建。基于上述两个修正系数,可对式(1)进行全面订正,得到适合不同区域及不同时期的改进型评估模型:

$$V_a = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_i f_{ij} E_a T_a \quad (5)$$

式中, V_a 为某个时期 a 区域经两种系数修订后的生态系统服务总价值, A_i 为 i 类生态系统的面积, f_{ij} 为 i 类生态系统的 j 项生态系统服务相对于农田生态系统提供食物生产服务价值当量因子。

2) 生态效应测算模型。① LUCC 生态效应指数(H_{ef}):区域的生态总效应不仅受 LUCC 的影响,还受其他多种因素的影响。为客观地评估 LUCC 的生态效应,应在区域生态服务价值的总变化量中,确定仅由 LUCC 所引起的那部分变化的比例,由此可构造如式(6)所示的 LUCC 生态效应指数 H_{ef} 。

$$H_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |A_{(f)i} \times D_{(e)ij} - A_{(e)i} \times D_{(e)ij}|}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |A_{(f)i} \times D_{(f)ij} - A_{(e)i} \times D_{(e)ij}|} \quad (6)$$

式中, $A_{(e)i}$ 、 $A_{(f)i}$ 分别表示研究时段初期和末期第 i 类生态系统的面积, $D_{(e)ij}$ 、 $D_{(f)ij}$ 分别表示研究时段初期和末期单位面积第 i 类生态系统第 j 项生态服务功能的价值, m 为生态系统类型总数, n 为生态系统服务类别总数。② LUCC 生态效应模数 (M_{ef})。生态效应具有效果或效率的涵义, 对同样的生态系统服务价值变化量而言, 其产生的效果显然应与发生区域的面积及发生时段的长度的不同而不同。因此, 可仿照水文学中的径流模数来建立生态效应模数 (M_{ef}) (式 7), 以使不同面积的区域或不同长度的时段所产生的生态效应具可比性。

$$M_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |A_{(f)i} \times D_{(e)ij} - A_{(e)i} \times D_{(e)ij}|}{\sum_{i=1}^m A_{(e)i} T} \quad (7)$$

式中, T 为研究时段长度。

2 研究区高程约束下的 LUCC 及其生态效应分析

2.1 不同高程等级的 LUCC 分析

1) 不同高程等级的土地利用/覆被数量特征分析。表 1 显示研究区 3 个年份不同高程等级的土地利用/覆被数据, 从中可获得以下几点有益的启示:

(1) 各种土地利用/覆被类型在不同高程等级的分布不均。林地主要分布于第 4、5 级, 在这两个等级分布的林地面积占林地总面积的 78% 左右, 表明研究区的林地主要分布于海拔较高的地区; 草地在各个等级的分布较为均匀, 但相对集中于海拔较高的第 3、4、5 级; 耕地则集中分布于第 1 级 (>50%), 其余等级也有一定数量的分布, 且分布较为均匀; 园地主要分布于第 4、5 级 (>60%), 其余等级分布的数量排序为: 3 级 > 2 级 > 1 级; 建设用地主

要分布于第 1 级 (>69%), 其次分布于第 2、4 级 (>19%); 水域主要分布于第 1、2 级 (>84%); 未利用地主要分布于第 1 级 (>74%)。

(2) 不同高程等级的土地利用/覆被类型结构的差异显著。在第 1 级, 耕地的面积最大 (>38%); 其次是建设用地、林地和水域, 其比重均在 11% 以上; 其余 3 类的比重均在 4% 以下。在第 2 级, 土地利用/覆被类型结构以林地和耕地为主 (>61%); 其次是建设用地、草地、园地和水域 (>3.9%), 未利用地的面积数量最小 (0.3%)。在第 3 级, 林地的面积最大 (>51%), 其次是耕地、草地和园地 (>31%); 其余 3 类的比重均较小 (<3.2%)。在第 4、5 级, 均以林地为主, 其比重均超过 75%, 其余 6 类的比重均较小 (<10%)。

2) 不同高程等级的土地利用/覆被数量变化分析。表 2 给出了研究区在 3 个时段中各种土地利用/覆被类型的面积变化状况, 据此可展开一系列分析。

在整个研究时段内 (1994~2006 年), 林地除第 3 级外的其余 4 个等级均减少, 按减量排序为: 1 级 > 4 > 2 > 5 级。草地在第 1、2、4 级均增加, 按增量排序为: 2 级 > 1 > 4 级; 在第 3、5 级则均减少, 且减幅较大的在第 3 级 (94.35%)。耕地在第 1、2、5 级均减少, 其中第 1 级的减幅最大 (57.42%), 这主要是由于经济社会的发展及与之伴随的城市化导致低海拔地区的优质耕地资源被大量占用; 在第 3、4 级均有所增加。园地在第 1、2 级均减少, 在其余 3 个等级则均增加, 且在其中的第 4、5 级的增幅相当显著 (97.85%)。建设用地在第 1、2、5 级均增加, 增幅最大的在第 1 级 (90.14%), 在其余两个等级则有所减少。水域在除第 5 级外的其余 4 个等级均增加, 按增量排序为: 3 级 > 2 > 4 > 1 级。未利用地在各个等级均减少, 其中第 1 级的减幅最大 (78.89%)。

表 1 1994、2001、2006 年研究区不同高程等级的土地利用/覆被数据 (hm²)

Table 1 The land use/cover for different elevation levels of study area in 1994, 2001, 2006 (ha)

1994/2001/2006 年	第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	第 5 级
林地	33 059/28 878/23 992	34 539/32 201/31 554	85 489/88 242/90 575	253 936/243 071/245 820	283 820/289 923/282 721
草地	2 712/3 227/7 841	3 171/7 886/10 208	15 602/12 502/8 132	13 451/17 919/15 201	15 523/10 430/15 076
耕地	96 124/92 154/82 716	23 195/18 048/18 052	23 056/22 531/25 627	28 376/29 390/30 392	21 222/18 863/16 422
园地	6 462/3 340/4 763	7 767/7 746/7 274	11 280/12 043/11 532	20 042/23 947/24 792	19 444/22 267/26 163
建设用地	43 065/51 582/65 285	6 559/7 954/7 630	4 743/4 192/2 051	5 413/6 715/4 830	2 506/3 231/3 865
水域	36 273/39 865/36 484	4 960/6 676/5 936	2 144/2 911/4 430	1 901/2 547/2 180	2 865/1 202/1 447
未利用地	9 734/8 383/6 348	708/388/245	547/440/514	1 150/680/1 054	717/181/403

表2 1994~2006、1994~2001、2001~2006年研究区不同高程等级的土地利用/覆被变化量(hm²)

Table 2 The change of land use/cover for different elevation levels in study area in 1994~2006, 1994~2001 and 2001~2006 (ha)

1994~2006/1994~ 2001/2001~2006年	第1级	第2级	第3级	第4级	第5级
林地	(-9 067)/(-4 181)/(-4 886)	(-2 985)/(-2 338)/(-647)	5 086/2 753/2 333	(-8 116)/(-10 865)/2 749	(-1 099)/6 103/(-7 202)
草地	5 129/515/4 614	7 037/4 715/2 322	(-7 470)/(-3 100)/(-4 370)	1 750/4 468/(-2 718)	(-447)/(-5 093)/4 646
耕地	(-13 408)/(-3 970)/(-9 438)	(-5 143)/(-5 147)/4	2 571/(-525)/3 096	2 016/1 014/1 002	(-4 800)/(-2 359)/(-2 441)
园地	(-1 699)/(-3 122)/1 423	(-493)/21/(-472)	252/763/(-511)	4 750/3 905/845	6 719/2 823/3 896
建设用地	22 220/8 517/13 703	1 071/1 395/(-324)	(-2 692)/(-551)/(-2 141)	(-583)/1 302/(-1 885)	1 359/725/634
水域	211/3 592/(-3 381)	976/1 716/(-740)	2 286/767/1 519	279/646/(-367)	(-1 418)/(-1 663)/245
未利用地	(-3 386)/(-1 351)/(-2 035)	(-463)/(-320)/(-143)	(-33)/(-107)/74	(-96)/(-470)/374	(-314)/(-536)/222

从两个分时段(1994~2001年、2001~2006年)看,在第1时段内,林地、在第1、2、4级均减少,在其余两个等级则均增加;草地在第1、2、4级均增加,而在其余两个等级均减少;耕地在除第4级外的其余4个等级均减少,其中第1、2级的减幅尤为显著(75.97%);园地在第1级减少,而在其余4个等级均增加,按增量排序为:4级>5级>3级>2级;建设用地在除第3级外的4个等级均增加,按增量排序为:1级>2级>4级>5级,呈随海拔升高而递减的特点;水域在除第5级外的其余4个等级均增加,按增量的排序为:1级>2级>3级>4级,呈随海拔升高而递减的特点;未利用地在各个等级均减少,其中第1级的减幅尤为显著(48.53%),表明未利用地的变化主要集中于低海拔地区。

在第2时段内,林地、在第1、2、5级均减少,而在其余两个等级则均增加;草地在第1、2、5级这3个等级均增加,而在其余两个等级均减少;耕地在第1、5级均减少,而在其余3个等级则均增加,其中第1级的变幅尤为显著(59.06%),表明耕地的变化主要集中于低海拔地区;园地在第1、4、5级均增加,而在其余两个等级则均减少,其中第5级变幅较大(54.51%);建设用地在第2、5级均增加,而在其余3个等级则均减少,其中第1级的变幅最大

(73.33%),表明建设用地的变化主要集中于低海拔地区;水域在第1、2、4级均减少,而在其余两个等级则均增加,其中第1级的变幅最大(54.08%);未利用地在第1、2级均减少,而在其余3个等级则均增加,其中第1级的变幅尤为显著(71.45%)。

通过以上分析,可将研究区不同高程等级的LUCC特征总结为以下几点:① 建设用地、耕地、未利用地和水域等4类的变化主要集中于海拔较低的第1级;② 园地的变化集中于海拔较高的第4、5级;③ 林地和草地在各等级的变化趋势恰好相反,这与这两种类型在不同高程上的相互转移密切相关。

2.2 不同高程等级LUCC的生态效应分析

1) 不同高程等级的生态服务价值变化分析。将研究区1994、2001和2006年3个年份各高程等级的各种土地利用/覆被类型的面积乘以相应年份对应类型的单位面积生态服务价值,即可获得研究区这3个年份各等级各类型的生态服务价值量,并可进一步计算出1994~2001和2001~2006年这两个时段各等级各类型的生态服务价值变化量及各等级总的生态服务价值变化量(表3),由此可展开一系列分析。

在1994~2001、2001~2006年这两个时段,各高

表3 1994~2001、2001~2006年研究区不同高程等级的生态系统服务价值变化量(10⁴元)Table 3 The change of ecosystem services value for different elevation levels in study area in 1994~2001 and 2001~2006(10⁴yuan)

1994~2001/ 2001~2006年	林地	草地	耕地	园地	建设用地	水域	未利用地	总计
第1级	10 154/1 988	819/4 045	13813/6248	-1 490/3 229	771/1090	57768/24795	60/(-12)	81 895/41 383
第2级	14 378/13 345	3 453/3 031	857/2 583	2 804/1 673	121/60	12 576/3 309	(-3)/(-3)	34 186/23 999
第3级	51 444/46 085	1035/(-1358)	3 566/5 494	5 050/2 945	33/(-56)	5 532/10 378	2/7	66 662/63 495
第4级	117453/118422	5 223/768	5 370/4 938	12 113/8 726	105/(-21)	4 775/852	(-4)/23	145035/133706
第5级	165153/116957	(-189)/5 215	2 173/905	10562/12908	53/58	-2 870/2 431	(-11)/12	174871/138486

程等级的生态系统服务价值总量均呈递增之势。其中,前1时段的增量排序为:5>4>1>3>2级,后一时段的增量排序为:5>4>3>1>2级。由此可知,研究区海拔较高地区的生态系统服务价值量变化较大,其变化对研究区生态系统服务价值总量的变动影响显著,从而也对研究区生态环境产生重要影响。

从2个时段各种土地利用/覆被类型的生态服务价值在不同高程等级的变化看,在前一时段,林地在各等级的生态服务价值量均增加,其中第5、4级的增量最大(78.81%);草地在除第5级外的其余4个等级的生态服务价值量均增加;耕地在各等级的生态服务价值量均增加,其中第1、4级的生态服务价值增量较大(74.41%);园地在除第1级外的其余4个等级的生态服务价值均增加,其中第4、5级的生态服务价值增量较大(74.27%);建设用地在各等级的生态服务价值量均增加,其中第1级的增量比重远大于其余等级(71.22%);水域在除第5级外的其余4个等级的生态服务价值量均增加,其中第1级的增量比重最大(71.63%);未利用地在第1、3级的生态服务价值量均增加,而在其余3个等级均减少。

在后一时段,林地在各等级的生态服务价值量均增加,其中第4、5级的增量最大(79.31%);草地在除第3级外的其余4个等级的生态服务价值量均增加;耕地在各等级的生态服务价值量均增加,其中第1、3、4级的生态服务价值增量较大(82.70%);园地在各等级的生态服务价值均增加;其中第5、4级的生态服务价值增量较大(73.38%);建设用地在除第3、4级外的其余3个等级的生态服务价值量均增加,其中第1级的增量占绝大部分(90.21%);水域在各等级的生态服务价值量均增加,其中第2、1级的增量比重较大(67.29%);未利用地在较低等级(第1、2级)的生态服务价值减少,而在较高等级(第3、4、5级)增加。

2) 不同高程等级LUCC的生态效应分析。将研究区的相关数据代入式(6)与式(7),获得其不同时段各高程等级的生态效应指数与生态效应模数(表4),由此可展开相应分析。

在LUCC生态效应指数方面,在1994~2001年间,各高程等级LUCC的生态效应指数介于0.12~0.56,且大致呈现随高程等级的增加而减少的趋势,表明在海拔较低的地区LUCC对生态效应的

表4 不同时段各高程等级的LUCC生态效应指数与生态效应模数

Table 4 The indexes and modulus of ecological effect from LUCC in different elevation levels at different periods

	LUCC生态效应指数		LUCC生态效应模数[元/(hm ² ·a)]	
	1994~ 2001年	2001~ 2006年	1994~ 2001年	2001~ 2006年
第1级	0.56	0.28	132.17	247.39
第2级	0.76	0.11	121.73	128.76
第3级	0.29	0.12	83.41	114.79
第4级	0.18	0.06	101.74	52.33
第5级	0.12	0.04	38.09	36.13

贡献率较大,而在海拔较高的地区农田生产力和居民支付意愿等其他因素的变化对生态效应的贡献率较大;在2001~2006年间,各高程等级LUCC的生态效应指数介于0.04~0.28,且亦大致呈现随高程等级增加而递减的趋势。此外,与前一时段相比,各高程等级LUCC的生态效应指数均明显减少,表明后一时段农田生产力与居民支付意愿等因素的变化对生态效应的贡献率在加大。

在LUCC生态效应模数方面,在1994~2001年间,各高程等级的生态效应模数排序为:1级>2>4>3>5级,大致呈随高程等级增加而减少的趋势,表明较低海拔地区LUCC的生态效应强度大于较高海拔地区。在2001~2006年间,各高程等级的生态效应模数排序为:1级>2>3>4>5级,表明该时段的生态效应强度仍表现为较低海拔地区大于较高海拔地区。与前一时段相比,后一时段在第1、2、3级的LUCC生态效应模数均增加,而在其余两个高程等级的LUCC生态效应模数却减少,表明在后一时段,海拔较低地区的LUCC生态效应强度加大,而海拔较高地区的LUCC生态效应强度则降低。

3 结 论

1) 各种土地利用/覆被类型在不同高程等级的分布存在较大差异,林地主要分布于第4、5级,草地集中于第3、4、5等级,耕地、建设用地和未利用地主要分布于第1级,园地主要分布于第4、5级,水域主要分布于第1、2级。在1994~2006年间,耕地、建设用地和未利用地的变化集中于第一级,其中耕地和未利用地减少,建设用地增加;园地的变化集中于第4、5级;水域和草地的变化集中于第3、2级;林地的变化集中于第1、3、4级。

2) 1994~2006年间,各高程等级的生态系统服务价值均增加。其中,1994~2001年增量排序为:5>4>1>3>2级,2001~2006年的增量排序为5>4>3>1>2级。在LUCC生态效应方面,各高程等级LUCC的生态效应指数大致呈现随高程等级增加而减小的特征,且后一时段均较前一时段明显减小。各高程等级的LUCC生态效应模数亦大致呈现随高程等级增加而减小的趋势,且后一时段第1、2、3级的值均增加,而其余两个等级的值则均减小。

参考文献:

- [1] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(6):553~557.
- [2] 陆汝成,黄贤金,左天惠,等.基于CLUE-S和Markov复合模型的土地利用情景模拟研究——以江苏省环太湖地区为例[J].地理科学,2009,29(4):577~581.
- [3] 李传哲,于福亮,刘 佳,等.近20年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究[J].自然资源学报,2011,26(3):353~363.
- [4] Denis Ruelland, Antoine Tribotte, Christian Puech, et al. Comparison of methods for LUCC monitoring over 50 years from aerial photographs and satellite images in a Sahelian catchment[J].International Journal of Remote Sensing,2011,32(6):1747-1777.
- [5] Wanhui Yu,Shuying Zang,Changshan Wu, et al. Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China[J]. Applied Geography,2011,(31):600-608.
- [6] 金石柱,刘志锋.基于TM影像的延吉市土地利用动态变化研究[J].地理科学,2011,31(10):1249~1253.
- [7] 傅丽华,谢炳庚,何燕子,等.基于小波分析长株潭核心区土地利用变化尺度特征研究[J].地理科学,2012,32(1):60~65.
- [8] 张 杨,刘艳芳,顾渐萍,等.武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J].地理科学,2011,31(10):1280~1285.
- [9] 谢叶伟,刘兆刚,赵 军,等.基于RS与GIS的典型黑土区土地利用变化分析——以海伦市为例[J].地理科学,2010,30(3):428~434.
- [10] 高 练,周 勇.武汉市土地利用/土地覆盖变化的生态环境效应分析[J].农业工程学报,2008,24(1):73~77.
- [11] 贡 璐,吕光辉,丁建丽,等.塔里木河上游土地利用变化中的生态价值损益分析[J].生态学杂志,2006,25(5):526~530.
- [12] 莫宏伟,任志远,谢红霞.农牧交错区土地利用动态与生态效应变化——以榆阳区为例[J].干旱区地理,2005,28(3):352~356.
- [13] 吴海珍,阿如旱,郭田保,等.基于RS和GIS的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理科学,2011,31(1):110~116.
- [14] 吴海珍,阿如汗,郭田保,等.基于RS和GIS的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理科学,2011,31(1):110~116.
- [15] Costanza R,d' Arge Rde Groot R,et al.The value of the world's ecosystem services and natural capital[J].Nature,1997,386:253-260.
- [16] 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.
- [17] 胡 锋.1990年以来的粮食价格水平波动研究[EB/OL].[2008-02-15].
http://www.hljagri.gov.cn/fxyc/zh/200802/t20080215_171112.htm.
- [18] 农业部信息中心.改革开放以来我国粮食价格走势分析[EB/OL].[2008-11-06].
http://www.hljagri.gov.cn/fxyc/zh/200811/t2-0081106_223801.htm.
- [19] 福州市统计局.福州统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2007.
- [20] 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.

Regional LUCC and Its Ecological Effect Based on Elevation Constraint: A Case Study of Fuzhou City

LI Ming-yong^{1,2}, YAN Lu-ming³, WANG Li-li¹, LIN Zhi-lei³

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;* 3. *School of*

Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: Land use and land cover change (LUCC) has become a critical field of land change science (LCS) in the study of global environmental change. Based on the remotely sensed data of land use change with a spatial resolution of $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ in the five sub-regions and seven counties of Fuzhou City in the years of 1994, 2001 and 2006, a improved models for evaluating ecosystem services value and ecological effect of LUCC was designed by introducing the value coefficient of food yield for regional farmland per unit area and the payment coefficient of regional ecosystem services in order to analyze the characteristics of LUCC and its ecological effect under the constraint of elevations during 1994-2006, which were divided into five levels ($-0.4\text{--}50\text{ m}$, $50\text{--}100\text{ m}$, $100\text{--}200\text{ m}$, $200\text{--}500\text{ m}$ and $500\text{--}+\infty\text{ m}$) ascending respectively. The results show that: 1) The distribution of different land use and cover types was quite distinct along elevation. Forest and garden land mainly distributed on the fourth and fifth level; cultivated, built-up and unused land on the first level; grassland on the third, fourth and fifth level; and water body on the first and second level. 2) The areas of all land use and cover types showed rapid variation which appeared different characteristics under the altitude constraint in the period 1994-2006. Arable, unused and built-up area had changed sharply on the first level. The first two types decreased whereas the last one increased. The area of garden land increased significantly on the fourth and fifth level. Water body and grassland variation mainly distributed on the third and second level. The woodland change concentrated on the first, third and fourth level. 3) The ecosystem services value had increased at all elevations in 1994-2006, which appeared some inconsistency in different periods. The increasing amount of ecosystem services value from large to small along elevation levels were the fifth, fourth, first, third and second levels respectively in the period 1994-2001 while those were the fifth, fourth, third, first and second levels in 2001-2006. The indexes of ecological effects had decreased with the rise of elevation levels in 1994-2006. Compared with 1994-2001, the indexes of ecological effects had significantly reduced in the period of 2001-2006. The modulus of ecological effects had also reduced with the go-up of elevation levels, which had increased at the first, second and third levels but decreased at the fourth, fifth levels in the latter phase compared with the previous period.

Key words: LUCC; elevation constraint; ecosystem services value; ecological effect; Fuzhou