

基于小班水平的东洞庭湖区域马尾松林健康评价

陈望雄¹, 杨新荣¹, 黎振强¹, 施和平²

(1. 湖南理工学院 经济与管理学院, 湖南 岳阳 414000; 2. 景德镇学院 经济与管理系, 江西 景德镇 333000)

摘要: [目的] 对东洞庭湖区域的优势树种马尾松林进行健康评价研究, 为该区域科学经营森林, 改善区域人居环境和生态环境建设提供参考和借鉴。[方法] 依据马尾松林样地调查、岳阳市森林资源二类调查和湖南省林业资源信息系统获取马尾松林数据。并从生产力、结构性、可持续性 & 抗干扰性 4 个方面选择了马尾松林 14 个健康评价指标, 依据方差贡献率确定指标权重, 计算有代表性的 329 个马尾松林小班得分与既有的健康等级定性指标标准比较确定小班的健康状况。[结果] 优质小班 14 个, 健康小班 76 个, 亚健康小班 221 个, 不健康小班 18 个, 分别占所选样本总面积的 7.33%, 24.62%, 61.34%, 6.71%。[结论] 该区域马尾松林总体上处于亚健康与不健康状况; 天然林健康状况好于人工林; 混交林健康状况优于马尾松纯林; 高海拔、陡坡、边远区域马尾松林健康状况明显优于低海拔、居民密集区域。

关键词: 东洞庭湖区域; 马尾松林; 小班; 方差贡献率; 健康评价

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)04-0176-06

中图分类号: S718.55

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.035

Health Assessment of Masson Pine Forest Based on Sublot Level in East Dongting Lake Area

CHEN Wangxiong¹, YANG Xinrong¹, LI Zhenqiang¹, SHI Heping²

(1. College of Economics and Management, Hunan College of Science and Technology, Yueyang, Hu'nan 414000, China; 2. Department of Economics and Management, Jingdezhen University, Jingdezhen, Jiangxi 333000, China)

Abstract: [Objective] The research on masson pine forest as superior tree species in East Dongting Lake area can provide the reference in scientific management for the regional forest, and improve regional environment and ecological environment construction. [Methods] The data about masson pine forest were gained through typical subplot survey, the second-class investigation of Yueyang forest resources and forest resources management information system in Hu'nan Province. The 14 indexes were selected and the index weight was ensured according to variance contribution rate. Then the score of sublots was determined by calculating represent 329 sublots compared with the existing health grade index. [Results] The evaluation results showed that the number of high quality sublots was 14, healthy sublots was 76, sub-healthy sublots was 221, unhealthy sublots 18, possessing total area of the selected samples 7.33%, 24.62%, 61.34%, 6.71%, respectively. [Conclusion] The masson pine forest in studied area was between sub-health and unhealthy in general; the natural forest health was much better than the plantation; the health situation of masson pine forest in high altitude, slope, remote area was significantly better than that in low altitude, dense population area.

Keywords: East Dongting Lake area; masson pine forest; subplot; variance contribution rate; health assessment

健康的森林生态系统不仅体现在维持自身的稳定性和可持续性, 更重要的是为人类社会提供生态服务功能。国内外有很多学者对森林健康进行一系列的定義和特点描述, 如 Costanza^[1] 从系统内稳定性、

无疾病、多样性、有活力、可恢复性和平衡性 6 个方面定义生态系统健康。Mageau 等^[2] 认为健康的生态系统至少应考虑到生态系统的结构、生长能力、恢复能力, 应将人纳入到自然系统中去, 既要考虑人类需

收稿日期: 2014-06-12

修回日期: 2014-06-23

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于湿地保护的生态农业体系构建及其运行机制研究: 以洞庭湖区为例”(71173073); 湖南省教育厅科学研究一般项目“东洞庭湖区域森林健康评价与资源可持续利用机制研究”(14C0519)

第一作者: 陈望雄(1974—), 男(汉族), 湖南省岳阳市人, 博士, 讲师, 主要从事生态旅游与资源可持续利用研究。E-mail: 357973445@qq.com。

通信作者: 杨新荣(1956—), 男(汉族), 湖南省岳阳市人, 硕士, 教授, 硕士生导师, 主要从事农业经济发展研究。E-mail: yxr 8847009@163.com。

求,也要注意人对自然界的影 响。沈文君等^[3]认为,一个健康的生态系统要从自身健康和满足人类需求两方面去衡量。马克明等^[4],袁兴中等^[5],张志城等^[6],Haworth^[7],Karr^[8]等学者也从不同的角度定义了生态系统健康的概念。通过学者们对生态系统健康的定义可知,森林生态系统健康的标准是一个人类的标准,本身不存在健康与否,而是是否持续地为人类提供各种服务为标准,是生态—社会经济—人类健康3个领域相结合的综合定义,不仅涉及生态学方面,更包括人类价值、伦理的、哲学、艺术、管理学和经济学的观点^[9-10]。森林生态系统健康作为森林资源管理的一个目标,其健康评价作为森林资源管理的一种有效手段得到了越来越多的应用,正日益受到世界各国政府和林业学者的重视。马尾松作为东洞庭湖区域的主要优势树种,对东洞庭湖区马尾松林健康评价有利于对该区域马尾松林健康情况、经营质量做出科学判断并采取合适的营林措施来改善其健康状况,有利于正确处理经济发展和资源、环境保护之间的关系,在建设“资源节约型、环境友好型”社会、改善区域人居环境以及生态环境建设决策方面也具有重要的参考和借鉴意义。

1 研究区概况

东洞庭湖区域位于洞庭湖东北部,东倚幕阜山,西临洞庭湖,北接长江,南连湘江、资江、沅江和澧水4条主干河流,地处北纬 $28^{\circ}25'33''$ — $29^{\circ}51'00''$,东经 $112^{\circ}18'31''$ — $114^{\circ}09'06''$,东西横跨177.84 km,南北纵长157.87 km,含汨罗市、临湘市2个县级市,岳阳县、华容县、平江县、湘阴县4个县,岳阳楼区、云溪区、君山区3个区,总面积15 019 km²,总人口548.34万人。

东洞庭湖区域属中国南部亚热带湿润森林植物区系,据统计,有高等植物5 000种左右,其中木本植物1 900多种,地带植被主要由木兰科、樟科、壳斗科、山茶科、冬青科、金缕梅科、安息香科的植物组成,可以说是种类繁多,区系成分复杂,孤寡种属多。主要用材树种有马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、檫树(*Sassafras tsumu*)、柏木(*Cupressus funebris*)、楠木(*Phoebe zhennan*)、火炬松(*Pinus taeda*)、湿地松(*Pinus elliottii*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、杨树(*Populus*)等20多种。区域主要森林树种为马尾松、杉木、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*),2010年岳阳市林业局森林资源调查数据显示,马尾松蓄积量为 4.24×10^6 m³,占活立木总蓄积的

29.04%,马尾松林面积为 1.48×10^5 hm²;占林业用地面积的33.49%,主要分布于海拔500 m以下的山地、丘岗红壤地区,为该区域主要优势树种,纯林较少,多与杉木、毛竹、油茶树、阔叶树等伴生。

2 研究方法

2.1 数据的获取

采取典型样地调查方法,选取东洞庭湖区域有代表性的马尾松林群落,调查马尾松纯林样地18块,设立20 m×20 m的样方,内设5个4 m×4 m的小样方。样地记录内容:(1)环境因子:海拔、坡位、坡向、土层厚度、土壤含水量、土壤有机质等;(2)样地上的乔木、灌木、草本的主要种类、株数、胸径、高度、冠幅、生产力等;(3)调查样地所在小班的森林覆盖率、龄级、植被组成和森林布局等。

同时借助岳阳市森林资源二类调查马尾松林小班数据和湖南省林业资源信息系统,所获取的数据主要包括胸径、树高、郁闭度、单位面积蓄积量、天然更新状况、群落层次结构、土层厚度、有机质、速效氮、速效磷、速效钾、土壤亚类、近自然度、坡位、坡向、海拔、森林病虫害、火险等级等。

2.2 评价指标体系的构建

依据森林生态系统健康评价理论基础和指标体系的选择原则,参照学者们对特定区域和特定对象的森林生态系统评价指标的选择^[7-11],考虑到森林生态系统健康评价密切相关的重要指标^[12],并结合数据的可获性及区域的特殊性,初步构架了马尾松林健康评价指标体系,其层次结构如图1所示。

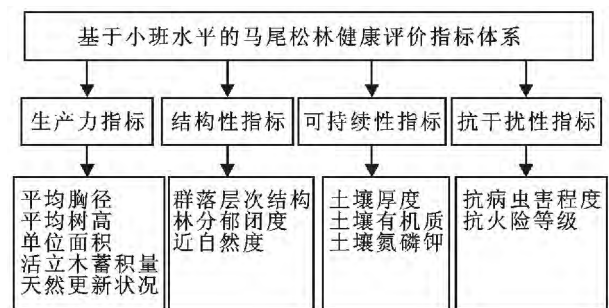


图1 基于小班水平的马尾松林健康评价指标体系

2.3 指标量化与标准化

马尾松林生态系统健康评价指标体系可以分为以下两种类型:第1种为定性指标,包括群落层次结构、天然林更新状况、土层厚度、近自然度、病虫害程度、火险等级,其等级划分依据湖南省森林调查操作技术规程直接确定。由于第一种为定性指标,依其定性指标标准,将健康5等级分级情况转化为十分制数

据,数值取等级值中间值,等级转化成数值详见表 1。第 2 种为定量指标,包括马尾松林分郁闭度、平均树

高、平均胸径、单位面积活立木蓄积量、土壤速效氮、速效磷、速效钾及土壤有机质。

表 1 马尾松林健康等级定性指标标准

定性指标	健康等级				
	优质[8,10)	健康[6,8)	亚健康[4,6)	不健康[2,4)	疾病[0,2)
天然更新状况	1 级(9)	2 级(7)	3 级(5)	4 级(3)	5 级(1)
群落层次结构	乔灌木复层林(9)	乔灌木单层林(7)	只有乔木(5)	只有灌木(3)	草本(1)
近自然度	1 级(9)	2 级(7)	3 级(5)	4 级(3)	5 级(1)
土层厚度	厚土层(9)	中土层(7)	薄土层(5)		
森林病虫害程度	无危害(9)	轻微危害(7)	中等危害(5)	较重危害(3)	严重危害(1)
森林火险等级	1 级(9)	2 级(7)	3 级(5)	4 级(3)	5 级(1)

定性指标依据马尾松林小班所处健康等级赋值,而平均胸径、平均树高、单位面积活立木蓄积量、林分郁闭度、土壤有机质、土壤速效氮、速效磷、速效钾均为正向定量指标,在一定的范围之内越大越好,应将其标准化,并转化为十分制数据,计算公式为:

$$X = 10(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: X_{\max} ——正向定量指标的最大值; X_{\min} ——正向定量指标的最小值。

2.4 评价指标权重确定

初步选定从生产力、结构性、可持续性、抗干扰性 4 个方面 14 个指标来进行马尾松林健康评价,考虑到指标之间的相关性,为了减少主观因素对某一方面赋权的影响,应用因子分析法中方差的贡献率大小来确定指标的权重。应用 SPSS 15.0 软件对马尾松林生态系统健康评价各指标进行分析。

2.4.1 KMO 和巴特利特球度检验 由于因子分析的主要任务是对原有变量进行浓缩,能够用较少的变量解释较多的变量且不丢失太多的信息,则要求变量之间存在较强的相关性,否则,变量无法进行浓缩,更无需进行因子分析。变量相关性大小先进行 KMO 和巴特利特球度检验。依据 KMO 和巴特利特球度检验要求,若 $KMO > 0.7$,则效果较好,若 $0.5 < KMO < 0.6$,则效果一般,若 $KMO < 0.5$,则不适合用因子分析方法(表 2)。

表 2 KMO 和巴特利特球度检验

KMO 取样适当性度量	0.713
大约卡方	1 788.996
巴特利特球度检验	
自由度	91
显著性	0.0005

从表 2 可知,KMO 为 0.713 则符合因子分析要求。从上表显著性检验系数为 0 的单侧显著性检验概率矩阵可知,说明变量两两之间存在较强的相关性。

2.4.2 因子提取 提取因子的关键是通过样本数据

求解因子载荷矩阵,依据基于主成分分析法,在设置因子提取阈值为特征值 > 0.9 。根据主成分的统计信息(表 3),特征值由大到小排列,各主成分的贡献率和累计贡献量为:前 6 个主成分的特征值分别为 3.244,2.474,1.682,1.222,1.048,0.925,他们能解释总变异的百分比分别为 23.174%,17.671%,12.011%,8.732%,7.488%,6.606%,前 6 个主成分的特征值大于或者接近于 1,取前 6 个主成分来确定评价权重,此时的累计贡献率达到了 75.682%,符合统计学原理。根据因子载荷矩阵信息(表 4),第 1 主成分在胸径、蓄积、有机质上有较高的载荷,第 2 主成分在速效氮、群落层次结构、土层厚度上有较高的载荷,第 3 主成分在速效磷、天然更新和速效钾上有较高的载荷,第 4 主成分在郁闭度和树高上有较高的载荷,第 5 主成分在病虫害和火灾等级方面有较高的载荷,第 6 主成分在近自然度方面有较高的载荷。

2.4.3 评价指标权重计算 每个评价指标的权重由主成分载荷和主成分的方差贡献率来确定,具体计算方法为:

6 个主成分的特征值和(Σ) = 3.244 + 2.474 + 1.682 + 1.222 + 1.048 + 0.925 = 10.595。

胸径的权重 = (0.891 × 3.244 + 0.124 × 2.474 + 0.023 × 1.682 - 0.107 × 1.222 - 0.206 × 1.048 + 0.066 × 0.925) / 10.595 = 0.28。

同理,可确定蓄积、有机质、速效氮、群落层次结构、土层厚度、速效磷、天然林更新、速效钾、郁闭度、树高、森林病虫害、火灾等级、近自然度的权重分别为 0.26,0.36,0.25,0.24,0.27,0.13,0.16,0.08,0.15,0.13,0.17,0.04,0.10。将计算权重结果归一化,则胸径、蓄积、有机质、速效氮、群落层次结构、土层厚度、速效磷、天然林更新、速效钾、郁闭度、树高、森林病虫害、火灾等级、近自然度的权重分别为 0.11,0.10,0.14,0.09,0.09,0.10,0.05,0.06,0.03,0.06,0.05,0.06,0.02,0.04。

表 3 特征值与方差贡献(提取方法:主成分分析方法)

主成分	初始特征值			旋转平方载荷总和		
	特征值	方差贡献率	累计贡献率	特征值	方差贡献率	累计贡献率
1	3.244	23.174	23.174	3.244	23.174	23.174
2	2.474	17.671	40.845	2.474	17.671	40.845
3	1.682	12.011	52.856	1.682	12.011	52.856
4	1.222	8.732	61.588	1.222	8.732	61.588
5	1.048	7.488	69.076	1.048	7.488	69.076
6	0.925	6.606	75.682	0.925	6.606	75.682
7	0.793	5.664	81.346			
8	0.700	5.001	86.348			
9	0.517	3.695	90.043			
10	0.441	3.149	93.192			
11	0.384	2.744	95.936			
12	0.292	2.084	98.019			
13	0.184	1.314	99.333			
14	0.093	0.667	100.000			

表 4 因子载荷矩阵

类别	主成分					
	1	2	3	4	5	6
胸径	0.891	0.124	0.023	-0.107	-0.206	0.066
蓄积	0.828	-0.042	0.009	-0.041	0.255	-0.029
有机质	0.782	0.324	-0.013	0.323	-0.031	0.140
速效 N	0.095	0.893	0.045	-0.030	0.053	-0.007
群落层次结构	-0.030	0.874	0.033	0.259	0.143	-0.061
土层厚度	0.251	0.641	-0.030	0.339	0.126	-0.011
速效 P	-0.011	-0.040	0.857	-0.042	0.013	0.089
天然更新	0.230	-0.042	0.666	0.163	-0.052	-0.174
速效 K	-0.351	0.238	0.661	-0.033	0.067	0.220
郁闭度	0.057	0.061	0.048	0.827	0.066	0.062
树高	-0.069	0.325	0.026	0.708	0.002	-0.154
森林病虫害	0.241	0.164	-0.167	-0.006	0.860	-0.045
火灾等级	-0.389	0.137	0.277	0.144	0.709	0.004
近自然度	0.095	-0.065	0.054	-0.039	-0.038	0.948

2.5 健康等级

以东洞庭湖区域马尾松林小班为评价单元,依据各项指标的标准化得分乘以各项指标的归一化权重计算各个马尾松林小班的健康得分值。参照学者

们^[5,13-19]从森林结构性、可持续性、抗干扰性方面确定森林健康等级及相应的评价得分(表 5),依据马尾松林小班的健康得分值确定马尾松林隶属健康等级。

表 5 马尾松林健康评价等级标准

健康等级	评价得分	森林健康评述
优质	8~10	林分群落层次结构很复杂,近自然程度高,郁闭度大,抗病虫害能力很强,森林火险等级低,不存在警情
健康	6~8	林分群落层次结构复杂,近自然程度高,郁闭度大,抗病虫害能力强,森林火险等级低,不存在警情
亚健康	4~6	林分群落层次结构比较简单,近自然程度较低,郁闭度小,抗病虫害能力弱,森林火险等级较低,警情处于孕育阶段
不健康	2~4	林分群落层次结构比较简单,近自然程度低,郁闭度小,抗病虫害能力弱,森林火险等级高,警情处于发展阶段
疾病	1~2	林分群落层次结构很简单,近自然程度很低,郁闭度很小,抗病虫害能力很弱,森林火险等级高,警情处于爆发阶段

3 评价结果

在东洞庭湖区域选定有代表性的 329 个马尾松林小班中,依据小班得分确定隶属健康等级,通过分析可知,优质的马尾松林小班 14 个,占所选个体总数的 4.25%,面积为 15.68 hm²,占所选样本总面积的 7.332%。该林分主要为马尾松+阔叶林或马尾松+杉木林,主要分布于离湖区较远的高海拔、坡度较陡山区,人为影响因素小,如平江县的幕府山、福寿山区域,岳阳县的铁山库区、毛田镇大云山林区及临湘市五尖山森林公园、羊楼司镇边远山区。这些林分群落层次结构较复杂,近自然程度高,郁闭度大,森林火险等级低,抗病虫害能力很强。

健康的马尾松林小班有 76 个,占所选个体总数的 23.1%,面积为 52.64 hm²,占所选样本总面积的 24.62%。主要是马尾松林+天然阔叶林、马尾松纯林、马尾松林+三杉(水杉、柳杉、池杉的合称)、马尾松+杉木林、马尾松林+竹林组成,主要位于平江县加义镇、南江镇、瓮江镇,岳阳县的月田镇刘庙村、大桥村、双江村,张谷英镇四维村。临湘詹桥镇、药菇山、五尖山森林公园,华容的胜利林场、塔市林场。这些马尾松林分群落层次结构较复杂,近自然程度较高,郁闭度较大,抗病虫害能力强,森林火险等级较低。这些林分或位于较高海拔或较陡坡山区,人为影响因素小,或属于国有林场,有专人经营管理。

亚健康的小班 221 个,占所选个体总数的 67.17%,面积为 131.17 hm²,占所选样本总面积的 61.34%,主要由马尾松纯林、或马尾松林与油茶、柑橘、胡柚等经济林混交,或马尾松与杨树混交。处于在海拔 150 m 以下的丘岗地区或湖区,在岳阳楼区的郭镇乡,云溪的道仁矶,汨罗的古培镇、弼时镇、黄柏镇、长乐镇,临湘的文桥镇、忠防镇、江南镇,湘阴的梓树、铁角嘴,华容的东山、三封寺、万庾等地大量分布。这些马尾松林分群落层次结构简单,近自然程度低,马尾松或作为群落演替先锋树种或作为人工栽培树种,这些区域土壤贫瘠、土壤透气性差,林分郁闭度小、抗病虫害能力中等,森林火险等级较高。

不健康的小班 18 个,占所选个体总数的 5.47%,面积为 14.349 hm²,占所选样本总面积的 6.71%,主要由人工马尾松林、或为马尾松与杨树、柑桔、油茶、灌木混交。这些林分主要分布在国道、省道两侧区域,长岭炼油厂、岳阳化工厂附近区域,或在不适合种树的立地条件区域种植。这些林分群落层次结构简单,近自然程度低,抗病虫害能力弱,森林火险等级高。

综上所述,亚健康、不健康的小班数占所选样本个体总数的 72.64%,两者之和面积占所选样本总面积的 68.05%,所以从小班水平上看东洞庭湖区域马尾松林总体上处于亚健康、不健康状况,与岳阳市林业局利用森林资源二类调查或遥感数据分析马尾松林的健康状况大体一致。

4 讨论

森林健康状况评价指标的选择应考虑到森林的自然性、社会、经济和人类健康状况,应具有综合性和全面性。目前中国对森林健康评价研究难以大范围开展生态监测工作,故有些数据难以获取,给指标的选取带来不少困难。很多学者对森林健康评价主要是参考森林健康的文献资料,要考虑数据的可获得性,但能获得同行广泛认可的评价指标体系却很少。其次是指标的量化。有些指标对评价森林健康在理论上很有代表性,能反映森林的健康状况,却难以量化,故无法进行客观比较,会影响森林健康评价的科学性和完整性。再次是指标权重确认,很多学者选择层次分析法(AHP),采用专家打分法和专家咨询相结合构造判断矩阵,进行层次排序,再进行一致性检验,此方法权重确认很大程度上存在主观因素。本研究将小班样本数据输入 SPSS 软件,应用该软件菜单因子分析法中方差贡献率大小来确定指标的权重,减少主管因素对指标权重确认影响。在这种情况下,经过深入研究,依据马尾松林生态系统类型差别性与东洞庭湖区域的特殊性,本研究从 4 个方面选择 14 个具体指标建立基于小班水平的马尾松林健康评价指标体系,依据方差贡献率大小确定指标权重,以期更准确地反映马尾松林健康水平。

5 结论

(1) 东洞庭湖区域马尾松林总体上处于亚健康与不健康状况。从亚健康、不健康的小班数占所选样本个体总数的 72.64%,占所选样本总面积的 68.05%可以看出。土壤有机质、土壤速效氮、群落层次结构、土层厚度等评价指标方面得分较低,应从这些方面加以改善来提高马尾松林健康等级。

(2) 东洞庭湖区域马尾松健康状况大致可以概括为:天然林健康状况优于人工林;马尾松混交林健康状况好于马尾松纯林;高海拔、陡坡、边远区域马尾松小班健康状况明显优于低海拔、居民密集区域。

(3) 东洞庭湖区域马尾松林健康状况总体上处于亚健康与不健康状况,还有较大的上升空间,马尾松林要持续发挥其生态服务功能和经济效益,就必须

调整经营模式,加大营林力度,落实营林措施,提高营林管理水平,才能更大地发挥其综合效益。

[参 考 文 献]

- [1] Costanza R, Norton B G, Haskell B D. Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management [M]. Washington DC: Island Press, 1992.
- [2] Mageau M T, Costanza R, Ulanowicz R E. The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health[J]. *Ecosystem Health*, 1995, 14(1): 201-213.
- [3] 沈文君,沈佐锐,王小艺. 生态系统健康理论与评价方法探析[J]. *中国农业生态学报*, 2004, 12(1): 159-161.
- [4] 马克明,孔红梅,关文彬,等. 生态系统健康评价:方法与方向[J]. *生态学报*, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [5] 袁兴中,刘红,陆健健. 生态系统健康评价:概念构架与指标选择[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 627-629.
- [6] 张志城,牛海山,欧阳华. “生态系统健康”内涵探讨[J]. *资源科学*, 2005, 1(27): 136-141.
- [7] Haworth L, Brunk C, Jennex D, et al. A dual-perspective model of agroecosystem health: System functions and system goal(abstract)[J]. *Journal of Agroecosystem and Environmental Ethics*, 1997, 102(11): 127-152.
- [8] Karr J R. Assessing Logical Integrity in Running Waters: A Method and Its Rational[M]. Champaign: History Survey, Illinois, Special Publication, 1986.
- [9] O’laughlin. Forest ecosystem health assessment issues: definition, measurement and management implication[J]. *Ecosystem Health*, 1996, 16(12): 19-39.
- [10] Rapport D J. What constitutes ecosystem health[J]. *Perspectives in Biology and Medicine*, 1989, 33(8): 120-132.
- [11] 陈高,代力民,姬兰柱,等. 森林生态系统健康评估(1):模式、计算方法和指标体系[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1743-1749.
- [12] 肖风劲,张强. 森林生态系统健康评价指标在中国的应用[J]. *地理学报*, 2003, 61(58): 804-808.
- [13] 鲁绍伟,刘凤芹,余新晓. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 79-82.
- [14] 李秀英. 森林健康评价指标体系初步研究与应用[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2006.
- [15] 周早弘. 油料林森林健康评价指标体系的研究[J]. *湖南农业科学*, 2009, 3(2): 114-117.
- [16] 肖风劲,欧阳华,傅伯杰,等. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用[J]. *地理学报*, 2003, 58(6): 803-808.
- [17] 鲁绍伟,柳凤,余新晓,等. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 79-82.
- [18] 刘大海,李宁,等. SPSS 15.0 统计分析从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社, 2008: 298-317.
- [19] 李金良,郑小贤. 北京地区水源涵养林健康性指标体系的探讨[J]. *林业资源管理* 2004, 5(1): 31-34.

(上接第 175 页)

[参 考 文 献]

- [1] 庄贵阳. 低碳经济:气候变化背景下中国的发展之路[M]. 北京:气象出版社, 2007.
- [2] 黎孔清,陈银蓉. 低碳理念下的南京市土地集约利用评价[J]. *中国土地科学*, 2013, 27(1): 61-66.
- [3] 杨亚楠,陈会广,陈利根,等. 基于低碳经济的城市土地集约利用[J]. *环境科学与管理*, 2011, 36(3): 145-148.
- [4] 顾颖敏,周浩,黄朝禧,等. 武汉市低碳经济发展和土地集约利用的耦合关系研究[J]. *国土资源科技管理*, 2013, 30(2): 35-39.
- [5] 李效顺,曲福田,郭忠兴,等. 城乡建设用地变化的脱钩研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2008, 18(5): 179-184.
- [6] 王琴梅,赵阳阳,刘卫波. 华中三省碳排放与经济增长脱钩分析:基于 LYQ 框架的实证[J]. *华东经济管理*, 2013, 27(7): 54-57.
- [7] 张小平,郭灵巧. 甘肃省经济增长与能源碳排放间的脱钩分析[J]. *地域研究与开发*, 2013, 32(5): 95-98.
- [8] 王莉,陈浮,陈海燕,等. 低碳经济和土地集约利用的脱钩分析体系研究:以江苏省昆山经济开发区为例[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(4): 218-222.
- [9] 胡大立,丁帅. 低碳经济评价指标体系研究[J]. *科技进步与对策*, 2010, 27(22): 160-164.
- [10] 陶志红. 城市土地集约利用几个基本问题的探讨[J]. *中国土地科学*, 2000, 14(5): 1-5.
- [11] 张敏,朱嘉伟,李晓伟,等. 城市土地集约利用评价研究:以郑州市为例[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(35): 15609-15611.
- [12] 张玥. 基于精明增长的郑州市城市土地集约利用研究[D]. 河南 郑州:郑州大学, 2011.
- [13] 陈百明,杜红亮. 试论耕地占用与 GDP 增长的脱钩研究[J]. *资源科学*, 2006, 28(5): 36-42.
- [14] 郭何伟. 郑州市低碳经济发展的制约因素及其对策[J]. *经济研究导刊*, 2013(27): 240-241.