

基于 AHP 和 Fuzzy 的延庆县森林资源综合评价

张会儒, 何 鹏, 郎璞玫

(中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091)

摘 要:为了全面、客观、准确地掌握森林资源状况,为林业生产经营活动和政府宏观决策提供科学依据,进行合理的森林资源综合分析评价就显得尤为重要。以北京市延庆县森林资源为研究对象,依托 1999 年和 2004 年森林资源规划设计调查(二类调查)数据,建立起了一套简单实用的涵盖 16 个底层指标的评价指标体系,利用层次分析法和模糊综合评价法对延庆县 17 个乡镇的森林资源进行了计算分析。结果表明,延庆县森林资源整体发展平稳,41.18% 的乡镇森林资源状况向着良好方向发展,“优”级的乡镇数目呈现出较大比例的增长。

关键词:森林资源;层次分析法;模糊数学;综合评价

中图分类号: S757.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2011)05-0179-06

Comprehensive Evaluation of Forest Resource in Yanqing County Based on AHP and Fuzzy Methods

ZHANG Hui-ru, HE Peng, LANG Pu-mei

(Institute of Forest Resource Information Techniques, China Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: To understand the condition of forest resource objectively and exactly, it is very important to conduct comprehensive analysis and evaluation of forest resources reasonably, which can supply reliable scientific data for government's policy-making, production and operating activities. Based on forest management inventory data of Yanqing County of Beijing in 1999 and 2004, an evaluation index system with 16 basic indices was built up, through which the forest resources of each subarea in Yanqing County was analyzed by using the analytic hierarchy process (AHP) and Fuzzy comprehensive evaluation. The results indicated that the whole forests within the county developed steadily. Subareas with a percentage of 41.18% were improving. The number of subareas ranked "excellent" increaser obviously.

Key words: forest resource; AHP; Fuzzy; comprehensive evaluation

为积极发展林业,保护森林和森林的可持续发展,为政府确定整个林业产业在国民经济中的地位和作用,制定林业发展规划与宏观决策等提供科学依据和准确数据信息,对一个区域的森林资源整体现状及其变化趋势,做出客观、准确剖析与评估,就显得十分必要。

在国际上,不仅评价的标准很不统一,而且多以定性评价为主,缺乏直观、系统的定量评价方法。法

国、德国、奥地利等欧洲林业发达国家一般主要是从森林蓄积量、木材产量、森林可持续经营措施实施状况、公众对森林提供多种服务功能的满意程度以及林道和防火等设施建设情况等方面对森林资源进行评价^[1-2];2002 年世界粮农组织出版的 2000 年全球森林资源评价成果则从森林覆盖率、森林生物量、森林采伐、木材供应、森林经营与管理、自然保护区设置与管理、森林防火与保护等方面对全球的森林资

源质量进行评价^[3]。在国内,周洁敏^[4]建立了基于森林资源连续清查成果的森林资源评价指标体系和方法;杨丽^[5]等建立了基于森林结构、森林生长状况和森林三大效益的综合评价指标体系和方法,把森林资源及其服务效能的评价进行了有机的统一;窦万星^[6]等、崔世莹^[7]等、李朝洪^[8]等对森林资源可持续性的评价指标体系和方法进行了研究;李会芳^[9]对资源评估方法进行的总结及对我国森林资源评估体系建设的建议,反映了目前国内外森林资源评价的研究情况。

以上研究多是用定性或者用简单的综合指数的方法进行的分析,评价指标体系和评价模型缺乏数学理论基础,评价结果受人为主观影响严重,缺少一套客观、科学的森林资源评价方法体系。本研究以森林资源二类调查数据为基础,以北京市延庆县为对象,利用层次分析法(analytic hierarchy process,简称 AHP)和模糊综合评价(fuzzy eomprehensive dvaluation)技术对研究区域内的森林资源做出定量的分析,为森林资源分析评价提供一套切实可行的技术方法。

1 研究区概况和数据来源

延庆县位于北京市西北部,县城距北京市城区约 74 km,为北京市辖远郊县。地理坐标介于 115°44′—116°34′E、40°10′—40°47′N 之间。县域呈东北向西南延伸的长方形,境内地势东北高,西南低,东、南、北三面环山,西面为官厅水库,在县域西南部形成山间盆地。土地总面积为 1 993.75 km²,现辖 15 个乡镇。

延庆县森林资源丰富,类型多样,原始植被类型为暖温带落叶阔叶林和温带针叶林,常见的森林类型主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)林,蒙古栎(*Quercus mongolicus*)林,山杨(*Populus davidiana*)林,阔(落)叶混交林等。此外,白桦(*Betula platyphylla*)、山杏(*Prunus armeniaca*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、旱柳(*Salix matsudana*)、榆树(*Ulmus pumila*)、桑树(*Morus alba*)等华北常见树种也有广泛分布。延庆县人工栽植的树种主要有油松、侧柏(*Platycladus orientalis*)、落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、国槐(*Sophora japonica*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、火炬树(*Rhus typhina*)、元宝枫(*Acer truncatum*)等。

本研究的基础数据是北京市延庆县 1999 年和 2004 年 2 期森林资源二类调查成果,以矢量的地理信息数据形式储存,为 shapefile 格式,包括属性数据和空间数据。

2 方法原理

本研究将深度挖掘二类调查数据的可分析性,构建出实用合理的树形指标体系,同时应用层次分析法对指标体系赋予权重。该方法从整体性出发,是一种定性分析与定量分析相结合的、自上而下的综合集成的决策方法。其基本原理是将一个复杂的被评价系统,按其内在的逻辑关系,以评价指标(因素)为代表构成一个有序的层次结构,运用专家的知识、经验、信息和价值观,根据各类指标在系统中的相对重要性,对同一层的指标进行两两比较对比,并按规定的标度值构造比较判断矩阵。经过层次单排序、层次总排序及一致性检验等步骤后,得出最终权重。

在构建指标体系后,将利用模糊综合评价的方法对延庆县森林资源进行评析。模糊综合评价属于模糊数学的范畴,他是描述不确定性事物的一种新型数学方式,模糊集合中的元素属于集合的程度用“隶属度”来表征,实现把人类的直觉确定为具体系数,并将约束条件量化表示,进行数学解答。

具体方法:以 m 个指标 n 个级别为例,设所有评判指标组成的集合为 U ,所有评语等级组成的集合为 V ,则隶属度矩阵 R 是 U 到 V 上的一个模糊关系。 R 通常由隶属度函数确定。常见的隶属度函数有正态分布型、均匀分布型、梯形分布函数等。如果评判因素的权重分配为 $A=[a_1,a_2,\cdots,a_m]$,则模糊综合评价模型为

$$B=A\times R=[b_1,b_2,\cdots,b_m]$$

根据评判结果 B 的最大隶属度,确定评价对象的评语。

模糊综合评价很好的解决了多个指标的综合分析,用隶属度的概念去解决评判结论的确定,具有可以克服传统数学方法中“唯一解”的弊端。

3 森林资源评价的过程

3.1 指标体系的构建

由于受到数据来源的限制,不能兼顾到森林状况的各个方面,只能从二类调查数据中挖掘出更多的有用信息,并力求在实际应用过程中简单可行。因此,本研究从森林数量、森林质量、森林结构、森林生态效益等 4 个方面建立基于二类调查数据的森林资源评价指标体系(图 1)。

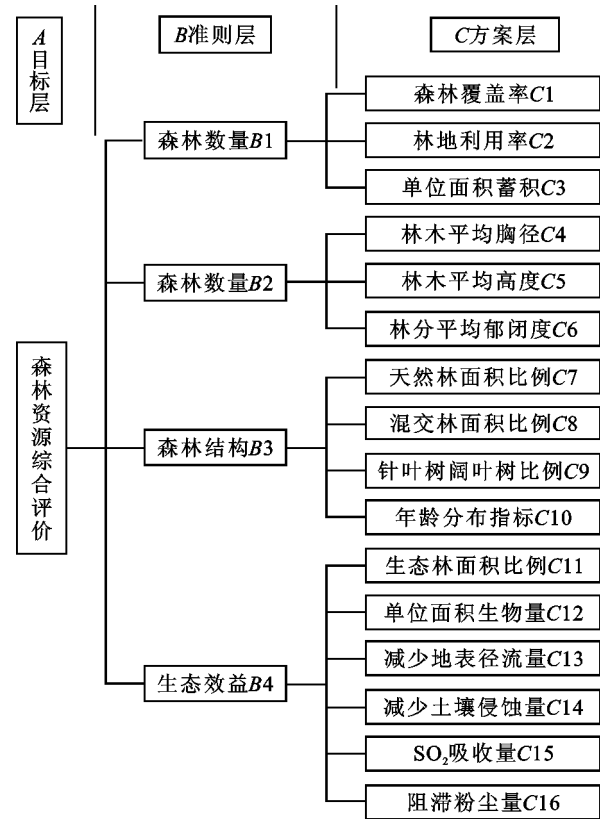


图 1 森林资源评价指标体系

Fig. 1 Index system of forest resource evaluation

其中,指标 C10 为 $C10 = -\sum (P_i \ln P_i) / \ln m$, 式中, P_i 表示各个林龄组的组成比例;指标 C12 的数据是以方精云^[10]等生物量模型分优势树种进行换算;指标 C13 是根据冯秀兰^[11]等北京土壤侵蚀模型进行的换算;指标 C15、C16 是根据施晓清^[12]等的森林空气净化模型进行的换算。

3.2 指标权重值的确定

首先对各个层次内部的两两指标进行重要值评判,构造出判断矩阵。常使用 1~9 标度法,数值越大,表明该行因素比该列因素越重要,1 为该行因素与该列因素同等重要,9 为该行因素比与该列因素绝对重要。然后计算出每行的几何平均值,归一化后即为该行指标的权重值 W_i 。表 1 显示了 B 层 4 个指标权重计算的过程。

表 1 中, W_i 为权重值, λ_{\max} 为判断矩阵最大特征值, RI 为平均随机一致性指标(查表获得)。当 $CR < 0.1$ 时,此判断矩阵具有满意的一致性。同理,可以得出所有指标的权重系数(表 2)。

3.3 隶属度函数的选用

结合本研究的指标特性,确定将评价结果划分为 3 个等级,那么隶属度函数也将呈现出 3 种线形。

表 1 判断矩阵 A-B 层计算结果

Table 1 Judgment matrix of Level A-B

A	B1	B2	B3	B4	W_i	λ_{\max}	一致性检验
B1	1	2	2	3	0.42	4.010 4	$RI=0.89$ (查表) $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=0.003\ 5$ $CR=CI/RI=0.003\ 9<0.1$
B2	1/2	1	1	2	0.23		
B3	1/2	1	1	2	0.23		
B4	1/3	1/2	1/2	1	0.12		

表 2 评价指标的权重值

Table 2 Weight value of each index

评价因子	CR	权重系数
$U=\{B1,B2,B3,B4\}$	0.003 9	$A=(0.42, 0.23, 0.23, 0.12)$
$U1=\{C1,C2,C3\}$	0.017 6	$A1=(0.44, 0.17, 0.39)$
$U2=\{C4,C5,C6\}$	0.017 6	$A2=(0.63, 0.24, 0.14)$
$U3=\{C7,C8,C9,C10\}$	0.005 4	$A3=(0.27, 0.48, 0.09, 0.16)$
$U4=\{C11,C12,C13,C14,C15,C16\}$	0.027 5	$A4=(0.50, 0.22, 0.10, 0.10, 0.04, 0.04)$

根据前人的研究经验,本研究使用常见的梯形状均匀分布作为指标隶属度函数。由于指标值对于评价结果有正向影响和负向影响之分,故要根据指标的具体含义选定合适的隶属度函数。本研究 13 个指标中,除了 C9 针叶树阔叶树比例外,其余各个指标都对评价结果呈现出正向影响,即指标值越大,评价结果越向优秀的方向发展。则研究针对不同指标采

用不同的隶属度函数(表 3)。

3.4 评价等级的划分

本研究将评价结果划分为 3 个等级,按评语论域中的子集类数,即评价等级为 $V = \{v1(\text{劣}), v2(\text{中}), v3(\text{优})\}$ 。根据原始试验数据分布状况和北京市延庆县的相关规划,确定各项目指标分级标准(表 4、表 5)。

表 3 各个指标适用的隶属度函数
Table 3 Membership function of each index

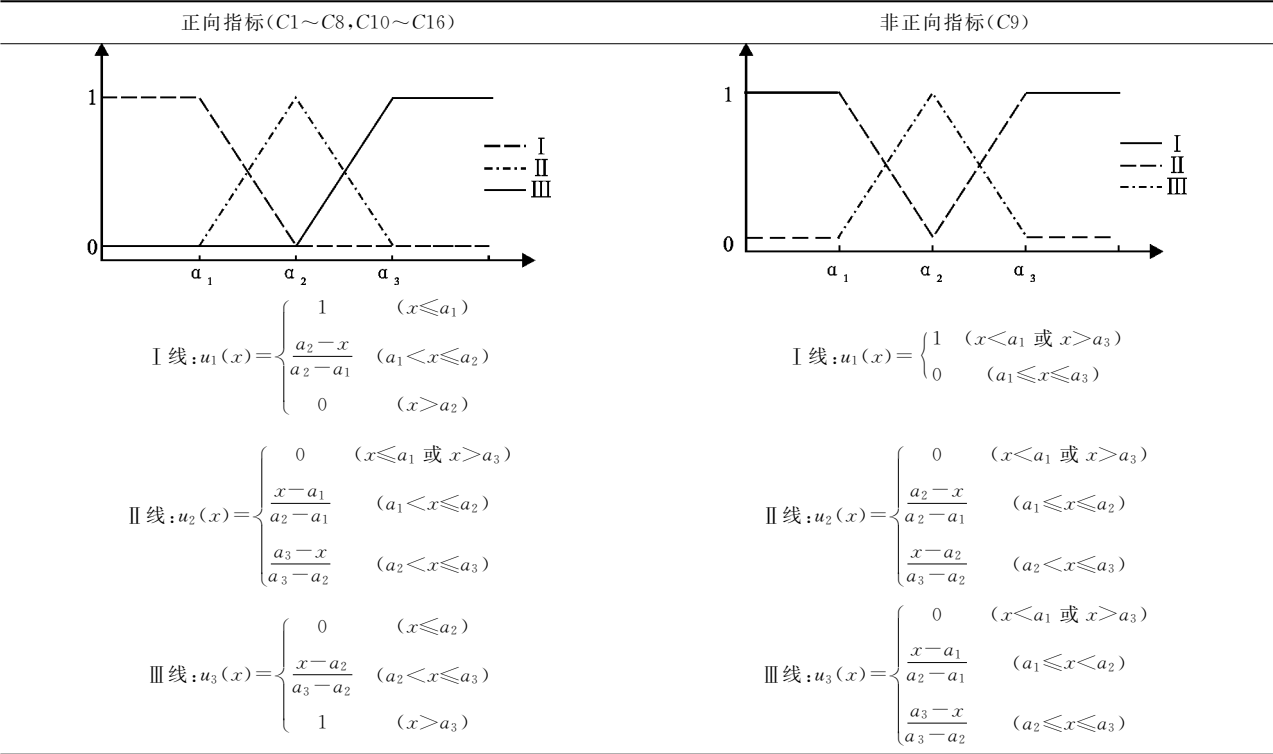


表 4 正向指标的分级标准
Table 4 Grading standard of forward index (C1-C9, C11-C13)

项 目	劣(即 a_1)	中(即 a_2)	优(即 a_3)
选用的隶属度函数	I: $u_1(x)$	II: $u_2(x)$	III: $u_3(x)$
森林覆盖率 C1/%	50	60	72
林地利用率 C2/%	60	70	80
单位面积蓄积 C3	20	30	45
林木(分)平均胸径 C4	10	12	14
林木(分)平均高度 C5	4	5	8
林分平均郁闭度 C6	0.50	0.55	0.60
天然林面积比例 C7/%	40	60	80
混交林面积比例 C8/%	6	8	10
年龄分布指标 C10	0.5	0.6	0.7
生态林面积比例 C11/%	60	70	80
单位面积生物量 C12	18	20	25
单位面积减少地表径流量 C13	420	451	480
单位面积减少土壤侵蚀量 C14	317	318	319
单位面积林地吸收 SO ₂ 量 C15	140	158	165
单位面积林地阻滞粉尘量 C16	57	60	65

表 5 非正向指标的分级标准
Table 5 Grading standard of index C9

项 目	劣	中(即 a_1, a_3)	优(即 a_2)
选用的隶属度函数	I: $u_1(x)$	II: $u_2(x)$	III: $u_3(x)$
针叶树阔叶树比例 C9	—	0.2, 3, 8	2

3.5 模糊综合评价过程

3.5.1 隶属度矩阵 R 计算 分别计算出每个对象各个指标对于 3 个等级的隶属度,得出二级隶属度矩阵。以下计算过程以延庆县 2004 年松山林场的数据作为样例,其余评价对象的计算过程不再赘述。

表 6 2004 年松山林场各指标的隶属度矩阵

Table 6 Membership degrees matrix of each index of Songshan forest farm in 2004

指标	劣	中	优	指标	劣	中	优
C1	0.00	0.64	0.36	C9	0.00	0.92	0.08
C2	0.00	0.69	0.31	C10	0.00	0.00	1.00
C3	0.50	0.50	0.00	C11	0.00	0.00	1.00
C4	1.00	0.00	0.00	C12	0.72	0.28	0.00
C5	0.00	0.96	0.04	C13	0.45	0.55	0.00
C6	0.00	0.62	0.38	C14	0.52	0.48	0.00
C7	1.00	0.00	0.00	C15	0.00	0.03	0.97
C8	0.00	0.00	1.00	C16	0.70	0.30	0.00

3.5.2 评判矩阵 B 计算 评判矩阵 $B=A\times R$,其中 A 为对应层级的权重矩阵。先分别计算出二级评判矩阵,再由下往上计算出一级评判矩阵。在本例中,即先求出二级 $B1,B2,B3,B4$,再求出一级的 B 。具体计算过程如下:

$$B1=A1\times R1=(0.44\quad 0.17\quad 0.39)$$
$$\begin{bmatrix}0.00&0.64&0.36\\0.00&0.69&0.31\\0.50&0.50&0.00\end{bmatrix}=(0.20\quad 0.59\quad 0.21)$$

同理, $B2=(0.63\ 0.32\ 0.06),B3=(0.27\ 0.08\ 0.65),B4=(0.28\ 0.18\ 0.54)$ 。

由以上 4 个二级评判矩阵可以组成一级的隶属度矩阵 R ,即

$$R=\begin{bmatrix}0.20&0.59&0.21\\0.63&0.32&0.06\\0.27&0.08&0.65\\0.28&0.18&0.54\end{bmatrix}$$

一级评判矩阵 B 为

$$B=A\times R=(0.42\quad 0.23\quad 0.23\quad 0.12)$$
$$\begin{bmatrix}0.20&0.59&0.21\\0.63&0.32&0.06\\0.27&0.08&0.65\\0.28&0.18&0.54\end{bmatrix}=(0.32\quad 0.36\quad 0.32)$$

3.5.3 评判矩阵 B 的处理和结论 经计算, $B=(0.32\ 0.36\ 0.32)$,由最大隶属度原则知 B 中最大值 0.36 对应于评价等级中论域的第 2 类,即延庆县松山林场 2004 年度森林资源评价等级为“中”。

按照上面的计算过程,分别计算出 1999 年和 2004 年延庆县 17 个乡镇(含国有林场)和整体区域的模糊评判矩阵 B (表 7)。

4 结论与讨论

根据表 8 的计算结果,我们不难分析出延庆县整体区域森林资源状况和变化趋势,同时对于各个乡镇的变化情况也有明晰的反映。

就延庆县整体区域而言,1999 年和 2004 年的

表 7 模糊评价计算结果

Table 7 Result of fuzzy evaluation

评价对象	1999 年评判矩阵 B	1999 年评价结果	2004 年评判矩阵 B	2004 年评价结果	变化趋势
八达岭	(0.60 0.38 0.03)	劣	(0.55 0.25 0.20)	劣	→
八达岭林场	(0.48 0.12 0.41)	劣	(0.34 0.24 0.42)	优	↑
大榆树	(0.54 0.09 0.38)	劣	(0.53 0.22 0.25)	劣	→
大庄科	(0.40 0.22 0.39)	劣	(0.51 0.13 0.36)	劣	→
井庄	(0.48 0.44 0.08)	劣	(0.37 0.33 0.30)	劣	→
旧县	(0.38 0.23 0.39)	优	(0.55 0.11 0.35)	劣	↓
康庄	(0.45 0.04 0.51)	优	(0.46 0.07 0.47)	优	→
刘斌堡	(0.82 0.11 0.07)	劣	(0.30 0.27 0.43)	优	↑
千家店	(0.60 0.20 0.20)	劣	(0.37 0.31 0.33)	劣	→
沈家营	(0.47 0.08 0.45)	劣	(0.39 0.13 0.49)	优	↑
四海	(0.28 0.26 0.46)	优	(0.20 0.35 0.45)	优	→
松山林场	(0.49 0.07 0.45)	劣	(0.32 0.36 0.32)	中	↑
香营	(0.64 0.35 0.01)	劣	(0.45 0.17 0.39)	劣	→
延庆镇	(0.37 0.28 0.35)	劣	(0.31 0.14 0.55)	优	↑
永宁	(0.31 0.41 0.28)	中	(0.47 0.31 0.22)	劣	↓
张山营	(0.43 0.41 0.16)	劣	(0.27 0.27 0.46)	优	↑
珍珠泉	(0.50 0.18 0.33)	劣	(0.29 0.23 0.48)	优	↑
延庆县	(0.45 0.46 0.09)	中	(0.24 0.48 0.28)	中	→

注:↑表示趋强;↓表示趋弱;→表示趋于平稳。

模糊评价结果都对应于评价等级中的第 2 类,即评价等级为中。再进一步分析 2 a 评判矩阵的具体数值,虽然两者结论一致,但是对应于各个等级的隶属度却不尽相同。从 1999 年到 2004 年的变化过程中,“劣”级的百分比在降低,而“中”、“优”级别的百分比都有所增长,特别是“优”级的隶属度增到了将近 20%。综合以上分析,延庆县森林资源状况 1999 年和 2004 年均属于“中”级别,在时间纵向上发展趋于平稳,但有向“优”级发展的趋势。

在延庆县各个乡镇(含国有林场)的尺度上来看,在 17 个评价对象中,1999 年森林资源状况从属于“劣”、“中”、“优”三级的乡镇数目分别为 13 个、1 个和 3 个,分别占到 76.47%、5.88% 和 17.65%;2004 年的状况有所改善,“优”级乡镇数目呈现出较大比例的增长,“劣”级乡镇减少,对应于三级的乡镇个数分别为 8 个、1 个和 8 个,比例分别达到 47.06%、5.88% 和 47.06%。

在时间纵向上分析,森林资源状况向着良好方向发展的乡镇个数为 7 个,占总数的 41.18%,且这些乡镇的森林资源大多都是由“劣”级转接转变到“优”级,发展势头迅猛;森林资源状况呈下降趋势的乡镇有 2 个,占到总数的 11.76%;剩余的 8 个乡镇发展平稳,继续保持着原有的状况。但是需要说明的是,尽管这些乡镇的评价等级并未提升,但是观察各个评判矩阵,“劣”级的隶属度基本都在下降,“中”、“优”级隶属度都有或多或少的提高,说明其虽然没有达到“质变”的效果,但还是正在做“量变”的积累,向着积极的方向发展。

森林资源评价技术方兴未艾,特别是在目前森林生态系统经营和集体林权制度改革的背景下,森林资源评估显得更为举足轻重。研究表明,以模糊数学为基础的综合评价模型可以成功地应用在森林资源分析评价中,该评价模型的关键在于指标权重的确定、隶属度函数的选用和评价等级划分三方面。本研究对于以上问题给予了较好的解决和应用,使层次分析法 AHP、梯形状均匀分布隶属度函数和模糊运算在林业上得到实践。

参考文献:

[1] JOHN W B, LOUISE F. Property and Forestry, Emerging Issues in Forest Policy[M]. Vancouver: UBC Press, 1992:60.

[2] 蒋国洪,丁良东,林余益,等.法国的森林质量评价管理[J].浙江林业,2006(10):40-43.

[3] FAO. Sustainable Management of Tropical Forests in Central African Search of Excellence[R]. Rome:FAO, 2002.

[4] 周洁敏.森林资源质量评价方法探讨[J].中南林业调查规划,2001,20(2):5-8.

[5] 杨丽,李龙梅,刘俊芬,等.森林资源综合评价指标体系的探讨[J].内蒙古林业调查设计,2006,29(1):59-60.

[6] 窦万星,代均玉,孙继文.森林资源评价浅探[J].防护林科技,2004(4):81-82.

[7] 崔世堂,苏喜友.森林资源可持续性评价系统的研究与实现[J].林业调查规划,2004,29(2):88-91.

CUI S Y, SU X Y. Study and realization on sustainable evaluation system of forest resource[J]. Forest Inventory and Planning, 2004,29(2):88-91. (in Chinese)

[8] 李朝洪,许俊杰,于波涛.中国森林资源可持续发展综合评价方法[J].东北林业大学学报,2002,30(2):73-76.

LI C H, XU J J, YU B T. Comprehensive appraising methodology for sustainable development of China forest resources[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2002,30(2):73-76. (in Chinese)

[9] 李会芳.森林资源评价研究[D].北京林业大学,2005:10-18.

LI H F. Study on the evaluation of forest resources[D]. Beijing Forestry University,2005:10-18. (in Chinese)

[10] 方精云,刘国华,徐嵩龄.我国森林植被的生物量和净生产量[J].生态学报,1996,16(5):497-508.

FANG J Y, LIU G H, XU S L. Biomass and net production of forestry vegetation in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996,16(5):497-508. (in Chinese)

[11] 冯秀兰,张洪江,王礼先.密云水库上游水源保护林水土保持效益的定量研究[J].北京林业大学学报,1998,20(6):71-77.

FENG X L, ZHANG H J, WANG L X. Quantitative evaluation of effects of water conservation forest on conserving soil and water in the upper stream of Miyun Reservoir[J]. Journal of Beijing Forestry University,1998,20(6):71-77. (in Chinese)

[12] 施晓清,赵景柱,吴钢,等.生态系统的净化服务及其价值研究[J].应用生态学报,2001,12(6):908-912.

SHI X Q, ZHAO J Z, WU G, et al. Purifying service of ecosystem and its value[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001,12(6):908-912. (in Chinese)