

文章编号:1001-7380(2016)03-0012-05

## 林农复合经营模式的优化选择研究

吴晶晶,周玉新\*,童婷婷,岳楚乔,周健芝,唐罗忠

(南京林业大学,江苏 南京 210037)

**摘要:**根据林农复合经营的功能性,从生物效益、环境友好、经济效益、科技发展、就业水平和生活水平6个方面构建了林农复合经营模式的评价指标体系。鉴于指标体系具有多层次、模糊性以及复杂性等特点,采用网络层次分析法构建了评价模型,有效解决了指标间相互关联的评价问题。以此对江苏省泗阳县典型的林农复合经营模式进行了实证研究,优化选择了该区域适宜的林农复合经营模式。

**关键词:**林农复合经营;模式;网络层次分析法;优化选择;生态效益;经济效益;社会效益;综合效益

**中图分类号:**F326.24 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2016.03.004

## Optimal selection of agroforestry models in Siyang County, Jiangsu Province

WU Jing-jing, ZHOU Yu-xin\*, TONG Ting-ting, YUE Chu-qiao, ZHOU Jian-zhi, TANG Luo-zhong

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** According to the functions of agroforestry, the evaluation index system of agroforestry was constructed from six aspects including biological efficiency, environmental friendliness, economic benefits, scientific and technological development, employment and living standards. Based on the index system characteristics such as multi-level, fuzziness and complexity, the evaluation model was constructed using the analytic network process which could effectively solve the problem about inter correlation among the evaluating indexes. By means of the evaluation method, the comprehensive benefits of typical agroforestry models in Siyang County, Jiangsu Province were studied. Finally, the optimization of agroforestry models were selected, which was suitable for the regional development.

**Key words:** Agro-forestry; Model; Analytic network process; Optimal selection; Ecological benefit; Economic benefit; Social benefit; Comprehensive benefit

林农复合经营是指以林地资源为基础,充分利用林内特有的环境条件,选择适合在该环境下种植和养殖的植物、动物和微生物物种,构建和谐稳定的复合农林生态系统<sup>[1]</sup>。发展林农复合经营可充分利用资源,提高土地利用效率,缓解人多地少的矛盾;以耕代抚降低了抚育成本,增加了农民收入,从而提高了经济效益;可提高林、农产品的产量和品质,满足社会对林、农产品的需求;可调整农村产

业结构,延长产业链,增加农村劳动力的就业机会;同时能有效改善生态环境,取得生态效益。我国林农复合经营的规模不断扩大,经营模式也不断增多,不同模式之间的经济、生态和社会效果差别显著,为了明确复合经营的主要效益,引导经营者选择适宜的经营模式,采用科学的方法对现有的林农复合经营模式进行合理评价并予以优化选择十分必要。近年来,许多学者<sup>[2-6]</sup>基于林农复合经营所

收稿日期:2016-05-06;修回日期:2016-06-08

基金项目:江苏省科技支撑计划项目“苏北杨农复合经营模式的优化选择与示范推广”(BE2014404);国际科技合作项目“长江中下游地区林特植物资源高效培育及开发利用技术”(2011DFA30490)

作者简介:吴晶晶(1986-),女,江苏连云港人,硕士研究生。主要研究方向:林农复合经营。

\*通信作者:周玉新(1965-),女,江苏南京人,副教授,硕士生导师。主要从事资源与环境经济、农林经济管理理论与政策的研究。  
E-mail: zyx1012@njfu.com.cn.

取得的经济、社会和生态效益,运用层次分析法(AHP)对一些地区的复合经营进行了综合评价,探讨适合当地的经营模式,取得了一定成果。层次分析法优点明显,但也存在一些不足,如指标权重难以客观确定,要求指标体系是一个内部独立的递阶层次结构,但是用于评价林农复合经营综合效果的指标体系往往并不是内部独立的递阶层次结构。

在层次分析法基础上,美国的 Saaty 教授于 1996 年提出了网络层次分析法 (Analytic Network Process, ANP),它是一种适用于非独立反馈系统的决策方法<sup>[7]</sup>。ANP 的创立有效地解决了 AHP 的不足,使其成为当前更为实用和可靠的决策方法。ANP 的网络层次结构既存在递阶层次结构,又存在内部相互依赖和反馈性的层次结构<sup>[8]</sup>,能够更准确地描述客观事物之间的联系。目前国内已有人<sup>[9-14]</sup>采用 ANP 对政府绩效、区域科技实力、都市型农业效益等进行评价,取得了较好的效果。

本文采用网络层次分析法(ANP),并利用超级决策软件(Super Decision)对江苏省泗阳县几种典型的林农复合经营模式进行了实证研究与评价,以期能够更加合理、准确地评价林农复合经营的经济、生态、社会和综合效益,为不同区域选择合适的林农复合经营模式提供依据和参考。

### 1 评价指标体系的构建

本文依据全面性、系统性、目的性、可操作性、简洁性等评价指标体系的建立原则,结合频度统计法、网络分析法以及相关基础理论,筛选出基本的评价指标,运用主成分分析法以及专家调查法得出 6 项准则层(生物效益、环境友好、经济效益、科技发展、就业水平、生活水平)和 16 项指标层的评价指标体系(见表 1)。

### 2 评价方法的选择

本文采用 ANP 评价方法,其步骤如下:

(1)构造网络结构。首先针对所要评价问题的实际情况进行系统分析,找出影响评价目标的元素关系。其次构造 ANP 网络结构,将系统划分为控制因素层和网络层 2 部分。

(2)确定控制层因子权重。在确定因子权重时,需要建立判断矩阵。在 ANP 中考虑到被比较的元素之间不是独立的,因此以 2 种方式进行比较:①直接优势度,给定一个准则,比较 2 个元素相对于准

则的重要性,这种方法比较适用于元素间相互独立的情形(AHP 结构);②间接优势度,给定一个准则,比较 2 元素相对于第 3 个元素的重要性。重要程度的量化参照 1-9 级标度进行。

表 1 林农复合经营模式多功能综合评价指标体系

| 控制层    | 准则层        | 评价指标                           | 指标说明                   |
|--------|------------|--------------------------------|------------------------|
| 生态功能   | 生物效益       | X1 涵养水源能力                      | 土壤的蓄水量( $t/hm^2$ )     |
|        |            | X2 土壤理化指数                      | 土壤中有有机质的含量( $mg/kg$ )  |
|        |            | X3 光能利用率                       | 有机物所含能量/单位面积土地所接受的太阳能  |
|        | 环境友好       | X4 环境改善程度                      | 人们对于环境改善的满意度(1-5 分制)   |
|        |            | X5 农药使用率                       | 农药使用量/土地面积( $元/hm^2$ ) |
|        |            | X6 森林覆盖率                       | 林地面积/土地总面积(%)          |
| 经济效益   | X7 耕地生产率   | 农林业总产值/农作物播种总面积( $元/hm^2$ )    |                        |
|        | X8 年均纯收益   | 农民人均年收入-农民人均年支出( $元/人\cdot年$ ) |                        |
|        | X9 产出投入比   | 农林业产出总值/农林业投入总值                |                        |
|        | X10 木材蓄积量  | 单位面积林分活立木材积量( $m^3/hm^2$ )     |                        |
| 科技发展水平 | X11 技术人员数量 | 能指导和帮扶农民的技术人员数(人)              |                        |
|        | X12 技术投入费用 | 政府每年投入的技术指导费( $元/年$ )          |                        |
| 社会功能   | 就业水平       | X13 工作的意愿                      | 农民从事林农复合经营的意愿(1-5 分制)  |
|        |            | X14 劳动力利用率                     | 从事复合经营的人员数/可利用的劳动力资源总数 |
|        | 生活水平       | X15 剩余劳动力利用能力                  | 剩余劳动力指妇女、老人等(1-5 分制)   |
|        |            | X16 收益稳定性                      | 林下经营农产品的价格稳定性(1-5 分制)  |

(3)超矩阵的计算。假设 ANP 的网络结构的控制层中有元素  $B_1, B_2, \dots, B_N$ , 即相对目标的准则。网络层次中有  $N$  个元素集  $C_1, C_2, \dots, C_n, C_i$  中有元素  $e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{ini}, \dots (i = 1, 2, \dots, N), C_j$  中有元素  $e_{jl} (l = 1, 2, \dots, n_j)$ , 元素集  $C_j$  中元素  $e_{jl}$  的影响通过两两比较方式进行。即在准则  $B_s$  下构建判断矩阵:

$$\begin{matrix}
 e_{jl} & e_{i1} & e_{i2} & \dots & e_{ini} & \text{归一化特征向量} \\
 e_{jl} & & & & & W_{i1}^{(jl)} \\
 e_{jl} & & & & & W_{i2}^{(jl)} \\
 \vdots & & & & & \vdots \\
 e_{ini} & & & & & W_{ini}^{(jl)}
 \end{matrix}$$

由特征根法及排序向量 ( $W_{i1}^{(j1)}, W_{i2}^{(j2)}, \dots, W_{ini}^{(jnj)}$ ) , 则  $W_{ij}$  表示为式(1)

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j1)} & W_{i1}^{(j2)} & \dots & W_{i1}^{(jnj)} \\ W_{i2}^{(j1)} & W_{i2}^{(j2)} & \dots & W_{i2}^{(jnj)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{ini}^{(j1)} & W_{ini}^{(j2)} & \dots & W_{ini}^{(jnj)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$W_{ij}$  的列向量就是  $C_i$  中的元素  $e_{i1}, e_{i2}, \dots$ , 对  $C_j$  中元素的影响程度排列向量, 若  $C_j$  中的元素不受  $C_i$  中元素的影响, 则  $W_{ij} = 0$ , 最终可获得在准则  $B_s$  下的超矩阵  $W$ , 表示为式(2)。

$$W = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_N \\ C_1 & W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ C_2 & W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ M & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_N & W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{matrix} \quad (2)$$

(4) 加权超矩阵的计算。以上超矩阵属于非负矩阵, 其中  $W$  不是归一化的, 而  $W$  超矩阵的子块  $W_{ij}$  是归一化的, 因此以  $B_s$  为准则, 在  $B_s$  下各元素集对准则  $C_j (j=1, 2, \dots, N)$  的重要性进行比较。

$$C_j \quad C_1 \quad \dots \quad C_N \quad \text{排序向量(归一化)}$$

$$C_1 \quad \quad \quad \quad \quad \quad a_{1j} \quad \vdots$$

$$C_N \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad a_{Nj}$$

把与  $C_j$  无关的元素集的排序向量分量定为零, 即可得到加权矩阵(3):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad (3)$$

对超矩阵  $W$  的元素加权, 得  $\bar{W} = (\bar{W}_{ij})$ , 其中  $\bar{W}_{ij} = a_{ij} W_{ij} (i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, N)$ 。  $\bar{W}$  作为加权超矩阵, 其列和为 1, 也称为列随机矩阵。超矩阵的每一列都是通过两两比较而得到的排列向量。为了便于计算需要将超矩阵的每一列归一化, 用加权矩阵实现。内部独立的层次, 除最后一层元素的权值不再分配外 ( $W_{NN} = 1$ ), 其余均为  $W_{ii} = 0$ 。

(5) ANP 的局部权重向量。通过上述步骤得到加权超矩阵  $\bar{W}$ , 其元素  $\bar{W}_{ij}$  的大小可反映元素  $i$  对元素  $j$  的第一步优势度,  $i$  和  $j$  的优势度也可由  $\sum_{k=1}^N \bar{W}_{ik} \bar{W}_{kj}$  得到, 称为第二步优势度, 它是  $\bar{W}^2$  的元素,  $\bar{W}^2$  是归一化的。以此类推可以计算  $\bar{W}^3, \bar{W}^4, \dots$ , 当

$\bar{W}^\infty = \lim_{l \rightarrow \infty} \bar{W}^l$  存在时,  $\bar{W}^\infty$  的第  $j$  列就是在准则  $B_s$  下网络层中各元素对于元素  $j$  的极限相对权重向量。将上式写成矩阵

$$\bar{W}^\infty = \begin{bmatrix} \bar{W}_{11}^\infty & \bar{W}_{12}^\infty & \dots & \bar{W}_{1N}^\infty \\ \bar{W}_{21}^\infty & \bar{W}_{22}^\infty & \dots & \bar{W}_{2N}^\infty \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \bar{W}_{N1}^\infty & \bar{W}_{N2}^\infty & \dots & \bar{W}_{NN}^\infty \end{bmatrix}$$

以上矩阵中每一行的数值即为相应元素的局部权重向量, 当某行的数值全部为 0 时, 则相应的元素局部权重向量为 1。将局部权重按元素顺序排列即得到局部权重向量  $Q$  [15]。

$$Q = [q_{11}, \dots, q_{1n_1}, q_{21}, \dots, q_{2n_2}, \dots, q_{N1}, \dots, q_{Nn_N}]^T \quad (5)$$

### 3 基于 ANP 的林农复合经营模式的综合评价模型

根据表 1 确定的林农复合经营模式综合评价指标体系构建如图 1 所示的网络层次结构模型。

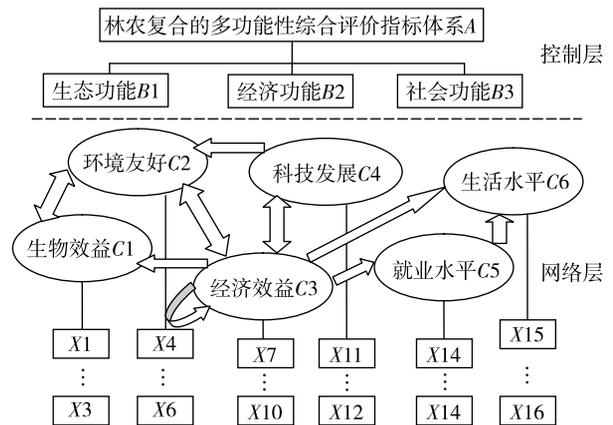


图 1 林农复合经营模式的网络层次评价模型

从模型中可以看到同一元素集以及不同元素集之间存在着相互依存、相互影响的关系, 其中元素集  $C_3$  经济效益对  $C_1$  生物效益、 $C_2$  环境友好、 $C_4$  科技发展、 $C_5$  就业水平、 $C_6$  生活水平会造成影响, 这是因为经济效益的提高会推动科技的进步, 科技进步有利于改善环境, 也有利于提高复合经营的生物功能; 经济效益的提高还能改善人们的生活水平并促进就业。  $C_3$  经济发展指标同样也会受到  $C_2$  环境友好、 $C_4$  科技发展的反馈影响, 因为环境得到了有效的保护能为经济的发展保驾护航, 科技进步了自然会推动经济的发展, 使经济发展朝向科技含量更高的方向。  $C_1$  生物

效益、C2 环境友好这 2 对指标集之间相互影响,因为生物效益的提高和环境的改善 2 者相辅相成;C3 经济发展指标内部各元素之间相互影响,这些相互作用推动了经济发展,所以各经济指标之间是相互联系的不是孤立的。

根据上述评价模型,利用 Super Decision 软件<sup>[16]</sup>计算各评价指标的权重(见表 2)。

结果显示,经济功能的权重值>生态功能的权重值>社会功能的权重值,分别为 0.418 896, 0.362 432, 0.218 673。这体现了经济效益优先的原则,同时也要求人们在追求经济发展的过程中重视生态和社会的可持续发展<sup>[17]</sup>。

#### 4 泗阳县林农复合经营模式的综合评价

本文将研究地设在江苏省中北部的宿迁市泗阳县,该地区是江苏林业大县。通过实地调查,选取了 5 种典型的模式,杨树造林密度均为 208 株/hm<sup>2</sup>,分别是 T0 纯杨树种植模式(对照)、T1 杨树—油菜—山芋复合经营模式(每年 10 月—次年 4 月播种油菜,5 月—次年 10 月收获山芋)、T2 杨树—蒲公英复合经营模式(每年 4—9 月播种,1 次种植可以连续收割 4,5 a,每年割叶 3, 4 次,4, 5 a 取根)、T3 杨树—草鸡复合经营模式(密度为 800

只/hm<sup>2</sup>,4 周龄以上)以及 T4 杨树—蘑菇复合经营模式(林间建菇棚 28 m×8.5 m×3.6 m),调查获得这 5 种模式各项指标的原始数据,结合上述指标权重值进行综合评价(见表 3)。

表 2 基于 ANP 模型的各指标权重值

| 控制层               | 准则层               | 评价指标            | Normalized By Cluster | Limiting  |           |
|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|
| 林农复合系统多功能性评价指标体系  | 生态功能<br>0.362 432 | C1<br>0.155 992 | X1                    | 0.229 04  | 0.035 729 |
|                   |                   |                 | X2                    | 0.438 82  | 0.068 453 |
|                   |                   | C2<br>0.206 44  | X3                    | 0.332 13  | 0.051 81  |
|                   |                   |                 | X4                    | 0.352 99  | 0.072 871 |
|                   |                   |                 | X5                    | 0.461 76  | 0.095 325 |
|                   |                   |                 | X6                    | 0.185 25  | 0.038 244 |
|                   | 经济功能<br>0.418 896 | C3<br>0.328 104 | X7                    | 0.420 6   | 0.138     |
|                   |                   |                 | X8                    | 0.180 02  | 0.059 064 |
|                   |                   | C4<br>0.090 792 | X9                    | 0.228 85  | 0.075 085 |
|                   |                   |                 | X10                   | 0.170 54  | 0.055 955 |
|                   |                   |                 | X11                   | 0.5       | 0.045 396 |
|                   |                   |                 | X12                   | 0.5       | 0.045 396 |
| 社会功能<br>0.218 673 | C5<br>0.073 702   | X13             | 0.484 37              | 0.035 699 |           |
|                   |                   | X14             | 0.515 63              | 0.038 003 |           |
|                   | C6<br>0.144 971   | X15             | 0.484 19              | 0.070 194 |           |
|                   |                   | X16             | 0.515 81              | 0.074 777 |           |

表 3 泗阳县林农复合经营模式的综合评价得分

| 控制层  | 准则层    | 评价指标          | 杨农复合经营模式 |       |       |       |       |
|------|--------|---------------|----------|-------|-------|-------|-------|
|      |        |               | T0       | T1    | T2    | T3    | T4    |
| 生态功能 | 生物效益   | X1 涵养水源能力     | 0.036    | 0.037 | 0.037 | 0.036 | 0.043 |
|      |        | X2 土壤理化指数     | 0.068    | 0.068 | 0.068 | 0.082 | 0.089 |
|      |        | X3 光能利用率      | 0.052    | 0.06  | 0.06  | 0.052 | 0.052 |
|      | 环境友好   | X4 环境改善程度     | 0.073    | 0.073 | 0.091 | 0.055 | 0.073 |
|      |        | X5 农药使用率      | 0.095    | 0.087 | 0.087 | 0.191 | 0.08  |
|      |        | X6 森林覆盖率      | 0.038    | 0.038 | 0.064 | 0.042 | 0.038 |
|      | 小计     | 0.362         | 0.364    | 0.408 | 0.457 | 0.375 |       |
| 经济功能 | 经济效益   | X7 耕地生产率      | 0.138    | 0.659 | 0.767 | 0.92  | 0.843 |
|      |        | X8 年均纯收益      | 0.059    | 0.307 | 0.378 | 0.449 | 0.413 |
|      |        | X9 产出投入比      | 0.075    | 0.084 | 0.093 | 0.091 | 0.092 |
|      |        | X10 木材蓄积量     | 0.056    | 0.062 | 0.062 | 0.067 | 0.062 |
|      | 科技发展   | X11 技术人员数量    | 0.045    | 0.023 | 0.014 | 0.009 | 0.018 |
|      |        | X12 技术投入费用    | 0.045    | 0.018 | 0.018 | 0.009 | 0.018 |
|      | 小计     | 0.419         | 1.153    | 1.331 | 1.545 | 1.446 |       |
| 社会功能 | 就业水平   | X13 工作的意愿     | 0.036    | 0.054 | 0.089 | 0.071 | 0.071 |
|      |        | X14 劳动力利用率    | 0.038    | 0.076 | 0.114 | 0.114 | 0.133 |
|      | 生活水平   | X15 剩余劳动力利用能力 | 0.07     | 0.056 | 0.07  | 0.056 | 0.07  |
|      |        | X16 收益稳定性     | 0.075    | 0.075 | 0.075 | 0.056 | 0.056 |
|      | 小计     | 0.219         | 0.261    | 0.348 | 0.298 | 0.331 |       |
|      | 综合效益合计 | 1             | 1.778    | 2.087 | 2.3   | 2.153 |       |

由表 3 可知:

(1) 进行林农复合经营的生态效益、经济效益、社会效益以及综合效益都高于纯杨树种植模式(T0),其生态效益排序为  $T3>T2>T4>T1>T0$ ,经济效益排序为  $T3>T4>T2>T1>T0$ ,社会效益排序为  $T2>T4>T3>T1>T0$ ,综合效益排序为  $T3>T4>T2>T1>T0$ 。

(2) 杨树—草鸡复合经营模式(T3)的经济效益和综合效益均优于其他杨农复合经营模式。同时杨树—蘑菇复合经营模式(T4)、杨树—蒲公英复合经营模式(T2)的经济效益也比较可观,当地农民可以根据实际需要选择合适的复合经营模式,以充分利用林地资源增加经济收入。

(3) 从社会效益的角度来看,各模式之间的差异主要在于 X15 剩余劳动力利用能力和 X16 收益稳定性这 2 项指标上。据调查,杨树—蒲公英复合经营模式(T2)和杨树—蘑菇复合经营模式(T4)可以充分利用零散的劳动时间,提高劳动力利用效率。

#### 参考文献:

- [1] 翟明善.关于林下经济若干问题的思考[J].林业产业,2011(3):47-49,52.
- [2] 齐 岩,吴保国.林农复合经营综合收益预测与分析——预测模型在河北林—粮间作中的应用[J].东北林业大学学报,2012,40(10):152-155.
- [3] 朱 玲,周玉新,唐罗忠.我国林农复合经营模式及其综合评价方法[J].南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(4):149-156.
- [4] 彭鸿嘉,莫保儒,蔡国军,等.甘肃中部黄土丘陵沟壑区农林复合生态系统综合效益评价[J].干旱区地理,2004,27(3):367-372.
- [5] 孙启祥,吴泽民,韦朝领,等.有螺江滩林农复合生态系统不同调控模式的综合效益评价[J].应用生态学报,2001,12(2):195-198.
- [6] 吴 钢,魏 晶,张 萍,等.三峡库区农林复合生态系统的效益评价[J].生态学报,2002,22(2):233-239.
- [7] SAATY T L. Decision making with dependence and feedback[M]. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publication, 1996.
- [8] 尹艳冰.基于 ANP 的绿色产业发展评价模型[J].统计与决策,2010(23):65-67.
- [9] 毕 然,魏津瑜,陈 锐. ANP 方法在都市型农业评价指标体系中的应用[J].中国农机化,2008(6):30-34.
- [10] 刘惠萍.基于网络层次分析法(ANP)的政府绩效评估研究[J].公共管理,2006(6):111-115.
- [11] 卢志平.基于 ANP 的信息系统外包提供商选择评价与决策过程[J].中国管理信息化,2009(6):84-87.
- [12] 王 蓓,孙林岩.基于 ANP 方法的逆向物流决策模型和算法[J].软科学,2007(21):20-24.
- [13] 辛永容.基于网络层次分析法的区域软实力评价——以江苏省为例[J].技术经济,2013,32(12):46-52,62.
- [14] 赵国杰,邢小强. ANP 法评价区域科技实力的理论与实证分析[J].系统工程理论与实践,2004(5):41-45.
- [15] 孙宏才,田 平,王莲芬.网络层次分析法与决策科学[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [16] 刘 睿,余建星,孙宏才,等.基于 ANP 的超级决策软件介绍及其应用[J].系统工程理论与实践,2003(8):141-143.
- [17] 童婷婷,周玉新,唐罗忠.林农复合经营经济效益评价研究现状与展望[J].世界林业研究,2013(5):13-18.