

文章编号: 1001-1498(2008)04-0429-07

基于 GIS 建模技术的县级林业区划方法研究

张超¹, 黄清麟^{1*}, 张晓红¹, 涂年旺²

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 国家林业局林业遥感与信息技术重点实验室, 北京 100091;

2. 福建省永安市林业局, 福建 永安 366000)

摘要:提出了基于 GIS 的县级林业区划方法框架;建立了永安市林业区划因素体系,并运用空间分析方法对各因子进行了提取;探讨了基于 GIS 建模技术的县级林业区划方法。通过主成分分析、建立综合模型、判别分析、确定合理分区个数和清除细小多边形等过程,最终得到的区划结果能够将各相对优势区域合理分开,分区林业生产状况统计数据能较清晰地反映各分区的资源状况和相对优势,林业建设发展方向较为明确。

关键词:地理信息系统;林业区划;县级;主成分分析;判别分析

中图分类号: S757.4

文献标识码: A

Study on Forestry Division Method at County Level Based on GIS with Integrated Modeling

ZHANG Chao¹, HUANG Qing-lin^{1*}, ZHANG Xiao-hong¹, TU Nian-wang²

(1. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF; Key Laboratory of Forestry

Remote Sensing and Information Technology, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

2. Yong'an Forestry Bureau, Fujian Province, Yong'an 366000, Fujian, China)

Abstract: Forestry division has been discussed rarely since 1995 in China. The growing interest in forestry provides an opportunity to improve the research tools and approaches that can help achieve a broad understanding of forestry division. Based on the research in Yong'an, Fujian Province of China, a framework that may be useful in correlative forestry division study was put forward: (1) The factor-system of Yong'an forestry division was established; (2) The factors were extracted with the spatial analysis; (3) The forestry division method of integrated modeling at county level based on GIS was processed. The method was taken through Principal Components Analysis, building the integrated model, Discriminate Analysis, seeking the ideal number of divisions and eliminating the scrappy polygons. The outcome showed that the method based on GIS with integrated modeling can reflect the present situation of the forestry development. The relative dominant subdivisions were distinguished reasonably, and a specific direction in forestry development was given. According to the statistics of the subdivisions' state, the relative dominant subdivisions were showed obviously.

Key words: GIS; forest division; county level; PCA; Discriminate Analysis

林业区划作为林业生产和森林经营的基础,在我国 20 世纪 70、80 年代曾经全面研究和开展过,自

1995 年以后研究较少。近年来,林业的地位和作用得到越来越多人的重视,随着由传统林业向现代林

收稿日期: 2007-10-25

基金项目: 国家林业局“948 项目“森林经营单位水平森林可持续经营技术引进(2006-4-23)”

作者简介: 张超(1980—),男,河北丰南人,中国林业科学研究院在读博士,主要从事森林可持续经营研究。

*通讯作者: 黄清麟(1967—),男,福建莆田人,研究员,博士,博士生导师,主要从事森林经理学研究,主要研究方向为森林可持续经营理论与技术。

业的重大转变,原来的林业区划已难以适应全面建设现代林业的要求;林业的经营管理实现手段发生了较大变化,随着计算机技术、地理信息技术和航空航天遥感等新技术在林业上的广泛应用,信息的获取、处理和管理技术大大提高,为实现更加客观、科学和准确的县级林业区划提供了条件。

近年来,地理信息系统技术在林业专业性区划中的应用取得了较大的进展,用于辅助指导林业生产,并已取得了较好成果。2002年,洪军等^[1]以东北林业大学帽儿山实验林场为例,以森林资源调查资料为数据源,结合帽儿山实验林场的地形与自身特点,在GIS支持下,按照森林的功能类型,将研究区域的森林划分为商品经济林和生态公益林2个经营区,在此基础上又划分了4个一级林种和16个二级林种;2004年,曾思齐等^[2]以武冈林场2003年森林资源调查资料为数据源,结合武冈林场的地形与区位特征,利用Arc/Info的空间分析与数据管理功能,按照森林的功能类型及森林区划技术标准,将武冈林场的森林资源划分为商品林和生态公益林2个类型,在此基础上,二级区划分为4个林种,三级区划分为9个林种。这些研究为探讨GIS技术在林业区划中的应用奠定了基础。

传统的县级林业区划方法有很多,例如多元统计分析中的谱系图聚类法、正交函数排序法,模糊数学中的直接模糊聚类法、模糊相似优先比法和模糊综合评判法,灰色系统中的灰色聚类法、灰色局势决策法等等^[3]。大多数指标只能依靠直接获取的数据,限制了区划因子的选择范围^[4];数据计算过程较为复杂,工作量较大,区划结果不直观,不能快速反复地调整分区个数和分区界线。而利用GIS的空间分析方法可以提取到传统方法不能获取的因子信息^[5-6],生成各种专题图,如地形地貌分布图、林种分布图、优势树种分布图和社会经济因子分布图等,能直观反映林地空间分布信息;结合数学建模原理与方法^[7],可直接在图上快速进行县级林业区划工作,并能根据实际情况和需要快速调整分区个数和分区界线,为林业规划、管理和决策提供科学依据。本文以福建省永安市为例,以村为区划基本单元,研究和探讨了基于GIS建模技术的县级林业区划方法。

1 研究区概况

永安市位于福建省中部偏西,地处 $116^{\circ}56' \sim 117^{\circ}47' E$, $25^{\circ}33' \sim 26^{\circ}12' N$,全市总面积

$2\,940\text{ km}^2$,大体上是九山半水半分田。属亚热带海洋性气候,年平均气温 $14.3 \sim 19.2$,年平均降水量 $1\,490 \sim 2\,060\text{ mm}$;地貌以山地、丘陵和山间盆地为主;根据福建省林地立地等级划分结果,永安市属Ⅱ、Ⅲ级立地林地面积占全市林业用地面积的63%^[8]。

永安市现有罗坊、上坪、槐南和青水4个乡,小陶、安砂、贡川、西洋、曹远、大湖和洪田7个镇,燕东、燕西、燕南和燕北4个街道办事处,228个行政村^[9]。根据永安市林业局2003年森林资源基础地理信息数据统计:全市林业用地面积 25.48万 hm^2 ,占总面积的86.26%。林业用地中有林地 23.69万 hm^2 ,疏林地 0.06万 hm^2 ,灌木林地 0.20万 hm^2 ,未成林造林地 0.65万 hm^2 ,无林地 0.88万 hm^2 。有林地中用材林面积 12.94万 hm^2 ,蓄积 $1\,541.99\text{万 m}^3$;防护林面积 4.60万 hm^2 ,蓄积 548.74万 m^3 ;特用林面积 0.37万 hm^2 ,蓄积 50.42万 m^3 。

2 研究方法

2.1 基于GIS的县级林业区划方法框架

空间分析是对分析空间数据有关技术的统称^[10-11]。空间分析方法包括各种几何或逻辑运算、数理统计分析和代数运算等数学手段。GIS的空间分析方法主要有空间查询与量算、叠置分析、缓冲区分析、表面分析、邻域分析和空间统计分类分析等^[12]。

本文将GIS的空间分析技术应用于县级林业区划方法中,提出了基于GIS的县级林业区划方法框架,如图1所示。

首先,遵循县级林业区划的原则和依据,并在对区划影响因素进行综合分析的基础上,分别从当地自然条件、社会经济和林业状况等方面构建县级林业区划的指标体系,运用GIS的空间分析技术对各指标的数据进行提取,建立包含各指标数据的综合数据库。然后,应用空间统计分类分析方法对综合数据库中各指标的数据进行综合分类(分区),同时辅以专家评判分级和决策支持,最终形成县级林业区划结果和林业区划图,同时建立了县级林业区划的基础数据资源库,在此基础上可进一步开展各种专业性区划工作,并得到各类区划专题图。通过对各指标数据的不断更新,能够及时得到调整后的县级林业区划结果,为林业生产和森林经营提供科学的依据。

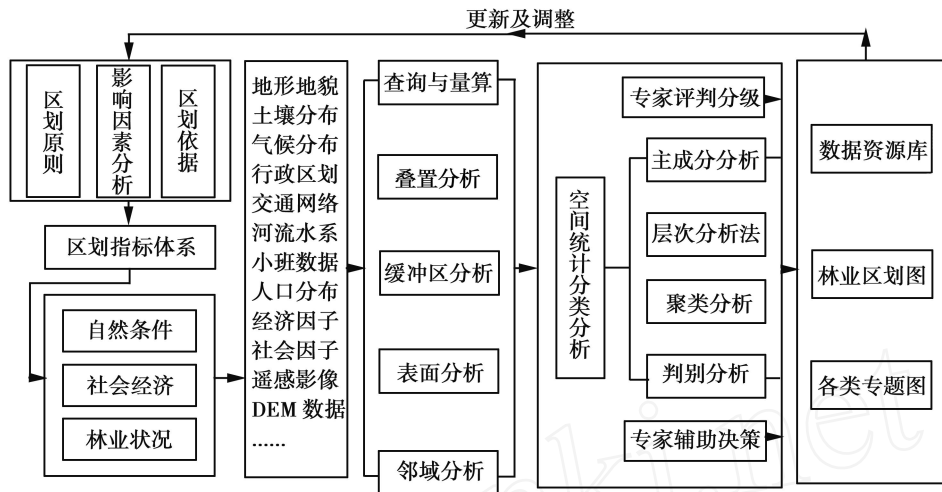


图 1 基于 GIS 的县级林业区划方法框架

2.2 分区依据

(1)以整个区域生态、经济和社会可持续发展为指导原则^[13];

(2)考虑社会、市场发展的需求。全面了解和研究社会、市场对林业发展和布局的要求;

(3)考虑自然环境因子^[14]。自然条件,如地形地貌、水分、温度和土壤等,是县级林业区划确定分区林业发展方向的限制因素;

(4)考虑生物生长规律,遵循适地适树的原则^[15];

(5)考虑地区经济发展水平、林业所占地位、林业科技及应用水平^[16]等。

2.3 永安市林业区划因素体系

县级林业区划因素体系的建立需要充分考虑区域林业发展条件与优势、发展方向和水平等的相似性和差异性,同时考虑林业发展的主要矛盾,并依据区域发展水平进行^[17-19]。本文通过综合分析永安市自然条件、社会经济条件和林业生产条件对全市林业区划的影响,遵循县级林业区划因素体系的建立原则^[3],主要选取平均海拔、年均降水、年均温度、

10 活动积温、农民人均纯收入、人均林业产值、人均林地面积、林业产值占工业、农业、林业总产值比重、林地面积比重、森林覆盖率、天然林面积比重、生态公益林面积比重和竹林面积比重 13 项指标作为永安市林业区划因子。

2.4 基于 GIS 建模技术的县级林业区划方法

基于 GIS 建模技术^[20]的县级林业区划方法的基本思路:利用数理统计分析中的主成分分析法,把原来的多个指标化为少数几个相互独立的综合指

标,建立综合模型;对综合值 Y 按其一维分布划定若干区间,对各分区结果进行判别分析得到修正后的预测分区结果,确定合理分区个数;对各区间按综合值 Y 融合,生成初步分类结果,在此基础上清除细小多边形,最终生成县级林业区划图和区划结果。主要步骤如下:

(1)分别提取各指标的数据,进行主成分分析;

(2)根据各主成分的贡献率确定主成分个数 m ,按照因子负荷量对各主成分命名;

(3)确定各主成分方程 Y_1, Y_2, \dots, Y_m ;

(4)建立综合模型^[21-24]:

$$Y = \frac{1}{1 + 2 + \dots + m} Y_1 + \frac{2}{1 + 2 + \dots + m} Y_2 + \dots + \frac{m}{1 + 2 + \dots + m} Y_m \quad (1)$$

式中: Y 为综合值; $1, 2, \dots, m$ 为各主分量的特征值; Y_1, Y_2, \dots, Y_m 为各主分量;

(5)对 Y 按其一维分布划分 n 个区间,对各分区结果进行判别分析,得到各区间的正判率和修正后的预测分类结果;

(6)统计各分区的林业生产现状数据,并进行极差标准化处理:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{min j}}{x_{max j} - x_{min j}} \quad (2)$$

(7)以各分区林业生产现状数据及极差标准化处理后的数据为参照,分别判断各分区的林业发展方向,将方向相同或相近的分区合并,讨论合理的分区个数;

(8)对以上得到的合理分区结果进行融合;

(9)清除细小多边形:统计细小多边形的林业生产现状,与各分区林业现状平均数据对比,将其融合到发展方向相同或相近的分区内;

(10)生成县级林业区划图及区划结果。

2.5 数据及处理方法

本文使用的主要数据有:1:25万比例尺永安市行政区划图,lay格式;1:1万比例尺永安市森林资源基础地理信息数据库,lay格式;永安市各乡镇多年平均温度、年均降水量、10℃活动积温,纸质;永安市2003年总人口数、农业人口数、农民人均纯收入等数据,纸质。这些数据主要来源于永安市林业局、气象局和统计局等单位。

本文使用的基础空间数据库中,数据图层、专题(Theme)多,数据来源不同,其投影方式、坐标系和数据格式等不完全一致。建立规范化的标准空间数据库是进行空间分析的前提和必要条件,因此,首先对数据进行检查和规范化处理。

(1)地图投影转换:利用 ArcView GIS 的 View Properties 将各数据图层进行投影转换。

(2)数据格式转换:主要在 ArcMap 中 ArcTool-Box 的数据转换向导中完成。

(3)空间数据的编辑、裁剪和合并等:空间数据的编辑主要在 ArcView GIS 中完成;数据裁剪和合并是在扩展模块中的 Geoprocessing Wizard 中完成。

3 结果与分析

3.1 建立综合模型

利用 GIS 的查询、量算和统计等功能分别提取 13 项指标的数据,并对以上提取的数据进行主成分分析^[25],结果如表 1、2 所示。从得到的相关阵特征值矩阵表可知,前 2 个主成分的累计贡献率为 84.39%,包含了原始数据的主要信息,若将其余主成分舍去只损失总信息量的 15.61%,因此选取前 2 个主成分构造综合模型。

由表 1 可知,第一主成分由多因素综合影响,其中平均海拔和天然林比重 2 因子负荷量为最大;第二主成分主要受经济因素影响,农民人均纯收入和人均林业产值 2 因子的负荷量为最大。

根据表 2 分别得到各主成分方程,建立综合模型:

$$Y = 0.7006 Y_1 + 0.2994 Y_2 \quad (3)$$

式中:Y 为综合值;Y₁、Y₂ 为第一、二主分量,其前面的系数为各自特征值所占一、二主分量特征值总和

的比例。

根据式(3)计算各村单元的综合值 Y。在计算 Y₁、Y₂ 过程中,代入的各因子的数值应是观测值标准化处理后的数值。

得到综合值 Y 后,即可对其分区划段,从而得到初步分区结果。分几个区较为合适?怎样分区较为科学合理?这是比较关键的。根据 Y 的一维分布,利用系统聚类方法,将 Y 分割为 n 个区间,对每个区间分别以 1, 2, ..., n 进行标记。为使区划结果更加合理,应取 n = 3, 4, ..., 分别对各分类结果进行判别分析,对修正后的预测分类结果统计各分区的林业现状数据,判断其发展方向。对 n 进行讨论,最终得到合理的分区个数。根据永安实际情况,本文依次取 n = 3, 4, 5, 6, 7, 利用 SPSS 软件对 Y 进行系统聚类,得到各初步分类结果。

表 1 特征向量

变量	主成分 1	主成分 2
平均海拔	0.889 9	- 0.275 4
年均降水	0.835 2	- 0.069 4
年均温度	- 0.598 3	0.348 1
活动积温	- 0.797 3	0.142 0
农民收入	- 0.486 1	0.617 9
人均林产值	0.643 4	0.649 6
人均林地面积	0.821 4	0.396 5
林产值比重	0.648 5	0.477 0
林地比重	0.562 7	- 0.126 7
覆盖率	0.633 8	- 0.141 4
天然林比重	0.858 0	- 0.080 5
公益林比重	0.313 9	- 0.361 2
竹林比重	0.476 2	0.374 8

表 2 主成分得分系数矩阵

变量	主成分 1	主成分 2
平均海拔	0.321 0	- 0.152 0
年均降水	0.301 3	- 0.038 3
年均温度	- 0.215 8	0.192 1
活动积温	- 0.287 6	0.078 3
农民收入	- 0.175 3	0.341 0
人均林产值	0.232 1	0.358 4
人均林地面积	0.296 3	0.218 8
林产值比重	0.233 9	0.263 2
林地比重	0.203 0	- 0.070 0
覆盖率	0.228 6	- 0.078 0
天然林比重	0.309 5	- 0.044 4
公益林比重	0.113 2	- 0.199 3
竹林比重	0.171 8	0.206 8

3.2 确定合理分区个数

以得出的初步分类结果作为分组变量,以 13 项指标数据标准化后的数值作为判别依据变量,采用 Fisher 判别系数,对初步分类结果进行判别分析,得到修正后的预测分类结果^[26]。限于篇幅,下面以 n = 3 为例:

利用 SPSS 软件进行判别分析,得到预测分类关系,如表 3 所示。统计 $n=3$ 时各分区的森林资源情况,包括:用材林面积比例、经济林面积比例、防护林面积比例、特用林面积比例和竹林面积比例(研究区薪炭林面积只占土地总面积的 0.02%,因此本文不考虑薪炭林比例),然后对此 5 个字段的数据进行极差标准化处理,如表 4 所示。参照各林种面积百分比及极差标准化后的数据,能清晰地反映各分区的资源现状和存在的问题,从而判断各分区的林业发

展方向。

表 3 预测分类关系

项目	分区	预测分类结果			合计
		1	2	3	
记录数	1	69	7	0	76
	2	8	78	5	91
	3	0	8	53	61
百分比 / %	1	90.79	9.21	0.00	100.00
	2	8.79	85.71	5.49	100.00
	3	0.00	13.11	86.89	100.00

表 4 分区现状统计 ($n=3$)

分区	面积百分比 / %					极差标准化					发展方向
	用材	经济	防护	特用	竹	用材	经济	防护	特用	竹	
1	47.31	4.02	16.39	0.51	13.09	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	0.13	0.00	0.00	用+经
2	46.63	2.71	16.03	0.63	16.88	<u>0.90</u>	0.35	0.00	0.08	<u>0.78</u>	用+竹
3	40.17	2.01	18.86	2.06	17.92	0.00	0.00	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	防+特+竹

注:加下划线部分为相对优势较为明显的发展方向

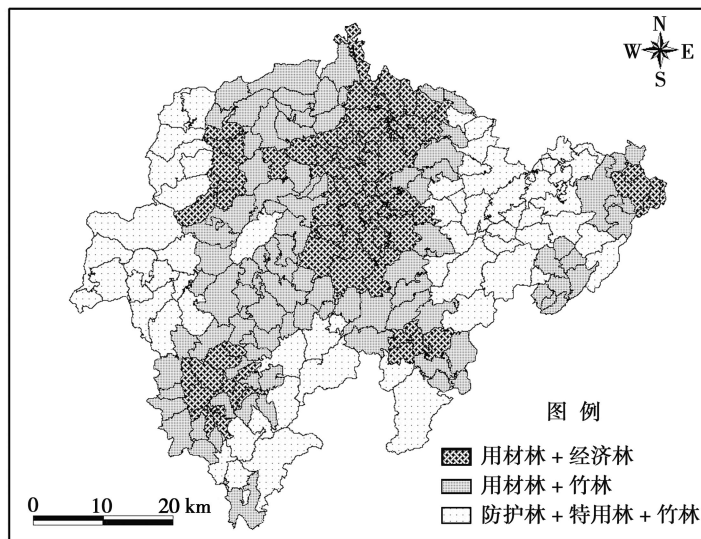


图 2 基于 GIS 综合模型的林业区划图 ($n=3$)

第 1 分区中,用材林和经济林相对优势较为明显,分区发展方向确定为“用材林+经济林”;第 2 分区中,用材林和竹林相对优势较为明显,分区发展方向确定为“用材林+竹林”;第 3 分区中,防护林、特用林和竹林相对优势较为明显,分区发展方向确定为“防护林+特用林+竹林”。

从表 4 和图 2 中可以看出,各分区多为若干个相对优势区域的组合,分区结果较为笼统,区划界线粗糙,在此基础上可进一步细分,因此 $n=3$ 不合适。

按同样方法依次取 $n=4, 5, 6, 7$, 得到各分区结果。对得到的结果对比分析: $n=3, 4$ 时,分区界线较为粗糙,局部区域需进一步细分; $n=5$ 时,各分区

相对优势均较明显,各分区发展方向明确; $n=6, 7$ 时,随着 n 逐渐增大,分区结果趋向于破碎化,出现了较多相对优势相同或相近的重复分区组合,因此,不再赘述 $n>7$ 的情况,本文选取 $n=5$,即认为将研究区划分为 5 个分区较为合理。

3.3 清除细小多边形

以上通过主成分分析和判别分析得到的分类结果中,由于空间异质性,必然会存在一些与周围区域相互独立的图斑,表现为较大区域中存在的较细碎、独立的若干块图斑。

县级林业区划的任务是确定研究区总体范围内的林业生产战略布局及分区林业事业的发展方向,属于

宏观决策,因此要将细碎的图斑融合到与其相邻的较大区域内。判定细小多边形的标准应根据图斑在总体范围内的实际分布以及研究区的面积大小、区划基本单元大小等具体情况确定。综合考虑以上因素,在本文中选取细小多边形的原则为:明显独立于周围较大区域的一块或两块空间上连续分布的图斑(村单元)。

要融合这些图斑,即将它们与周围区域合并,是应有一定原则的,不能随意合并。本文的方法:将这些图斑的森林资源状况与每个分区的森林资源平均状况相比较,以及查看其在区划图中的具体位置,据

以确定图斑的融合方向(具体过程略)。

3.4 区划结果

按照最终调整完成的分类结果进行融合,最终生成区划专题图和区划结果,打印输出。区划图如图 3 所示,区划结果的正判率情况如表 5 所示。

研究结果表明,应用基于 GIS 建模技术的区划方法,以村为区划基本单元,得到的区划结果中,各分区能够较为明确地反映分区林业发展方向,通过与永安现状统计情况对比,区划结果在局部表现为对现状布局的调整。

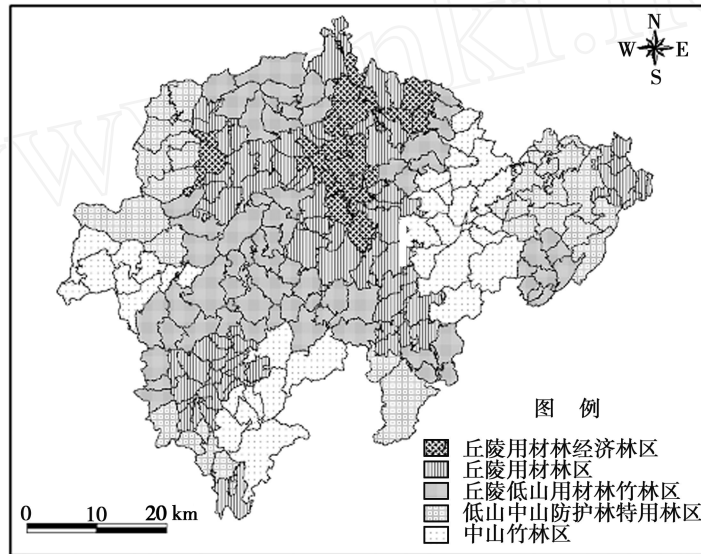


图 3 基于 GIS 综合模型的永安市林业区划图

表 5 分区融合结果与 13 项指标的符合情况分析

项目	分区	判别结果					合计
		1	2	3	4	5	
记录数	1	26	6	0	0	0	32
	2	7	52	5	0	0	64
	3	0	5	53	7	1	66
	4	0	0	2	27	3	32
	5	0	1	3	1	29	34
百分比 /%	1	81.25	18.75	0.00	0.00	0.00	100.00
	2	10.94	81.25	7.81	0.00	0.00	100.00
	3	0.00	7.58	80.30	10.61	1.52	100.00
	4	0.00	0.00	6.25	84.38	9.38	100.00
	5	0.00	2.94	8.82	2.94	85.29	100.00

4 结论与讨论

(1) 通过与永安市实际情况对比,参照区划结果的正判率,基于 GIS 建模技术的县级林业区划方法对于各分区划分得较为准确,各分区的融合结果与选定的 13 项区划指标的符合情况均超过 80%,能

够将具有相对优势的区域合理分开,林业建设发展方向较为明确。

(2) 通过将综合值 Y 按其一维分布进行聚类划分若干区间,分别讨论不同分区个数与现状的实际符合情况,参照各分区各林种面积百分比及极差标准化后的数据,比较、判断各分区的林业发展方向。得到的较理想的区划结果表明分区个数的确定方法在本文中区划方法的适用性。

(3) 由于县级林业区划本身的复杂性,未能形成较为科学的县级林业区划因素体系,本文着重探讨了基于 GIS 建模技术的县级林业区划方法,对县级林业区划的因素体系未做深入研究。如何科学确定一个具体区域林业区划的因素体系有待进一步研究。

(4) 由于时间和数据的限制,本文未能探讨表面分析、邻域分析等其它空间分析功能在县级林业区划中的应用。如何充分利用 GIS 提取相关县级林

业区划指标的功能有待进一步研究和完善。

参考文献:

- [1] 洪 军,蔡体久. 基于 GIS的森林分类经营区划 [J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(4): 14 - 18
- [2] 曾思齐,肖化顺,石军南. 地理信息系统支持下的森林分类区划界定 [J]. 中南林学院学报, 2004, 24(5): 11 - 15
- [3] 刘建国,袁嘉祖. 林业区划原理与方法 [M]. 北京:中国林业出版社, 1994: 3 - 107
- [4] 张 超,黄清麟. 林业区划研究综述 [J]. 林业资源管理, 2005(5): 16 - 20
- [5] Birkin M, Clarke G, Clarke M, *et al* Intelligent GIS, Location Decisions and Strategic Planning [M]. Cambridge: Geoinformation International 1996
- [6] 赵宪文,张淑娟,陆显祥. 遥感资料和聚类方法在县级林业区划中的应用 [J]. 林业科学研究, 1992, 5(2): 239 - 242
- [7] 张 超. 基于 GIS的县级林业区划方法研究——以福建省永安市为例 [D]. 北京:中国林业科学研究院, 2006: 69 - 70
- [8] 永安市林业区划办公室. 福建省永安市林业区划文件汇编 [C]. 福建永安, 1984
- [9] 永安市统计局. 永安统计年鉴 [C]. 福建永安, 2004
- [10] 邬 伦,刘 瑜,张 晶,等. 地理信息系统原理、方法和应用 [M]. 北京:科学出版社, 2001: 161 - 194
- [11] 张 超,陈丙咸. 地理信息系统 [M]. 北京:高等教育出版社, 1995: 10 - 45
- [12] 边馥苓. 地理信息系统原理和方法 [M]. 北京:测绘出版社, 1996: 87 - 93
- [13] 黄清麟. 浅谈德国的“近自然森林经营” [J]. 世界林业研究, 2005, 18(3): 73 - 77
- [14] 谢守鑫,姜 姜,余树全. 区域森林资源分类区划方法的研究 [J]. 林业资源管理, 2006(4): 6 - 11
- [15] 陈建新,王明怀,殷祚云,等. 广东省秃杉引种栽培效果及栽培区划分研究 [J]. 林业科学研究, 2002, 15(4): 399 - 405
- [16] 黄清麟. 森林可持续经营综述 [J]. 福建林学院学报, 1999, 19(3): 282 - 285
- [17] Ian Fry. Twists and turns in the jungle: Exploring the evolution of land use, land-use change and forestry decisions within the Kyoto Protocol [J]. Review of European Community and International Environmental Law, 2002, 11(2): 159 - 168
- [18] Haber W. Using landscape ecology in planning and management [M] // Zonneveld I S, Forman R T T. Changing Landscapes: An Ecological Perspective. New York: Springer-Verlag, 1990: 217 - 231
- [19] FAO. FESLM. An International Framework for Evaluating Sustainable land management [R]. Rome: World Soil Resources Report 73, 1993
- [20] 陈述彭,鲁学军,周成虎. 地理信息系统导论 [M]. 北京:科学出版社, 2000: 33 - 58
- [21] 朱秀珍. 大型灌区运行状况综合评价研究 [D]. 武汉:武汉大学, 2005: 89 - 90
- [22] 白亚恒. 洪湖市可持续发展评价及对策研究 [D]. 北京:中国科学院测量与地球物理研究所, 2001: 11 - 14
- [23] 李建兵. 基于 GIS的鞍山市投资环境评价系统的研究 [D]. 鞍山:鞍山科技大学, 2005: 58 - 59
- [24] 廖伟华. 基于 GIS甘肃省可持续发展及其空间差异研究 [D]. 兰州:兰州大学, 2003: 17 - 20
- [25] 唐守正. 多元统计分析方法 [M]. 北京:中国林业出版社, 1984: 20 - 22
- [26] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析 [M]. 北京:电子工业出版社, 2000: 379 - 404