

基于GIS与地统计学的和平县林地土壤肥力综合评价*

曲 仡 孙冬晓 魏 丹 张 耕

(广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 研究结合GIS、地统计学及多元统计分析,对河源市和平县林地土壤肥力进行综合评价,绘制林地土壤肥力等级空间分布图。结果如下:(1)共划分林地土壤肥力评价单元2 510个,评价单元最小面积为1.67 hm²,最大面积为2 014.82 hm²,均值为78.21 hm²,和平县林地土壤共计18.9万hm²,达到精细化评价水平。(2)主成分分析将6个土壤肥力指标提取为2个主成分,可反映和平县林地土壤全部信息的68%。主成分1以全氮(Total nitrogen, N)、容重(Capacitive weight)贡献大,主成分2以全钾(Total potassium, K)、有机碳(Organic carbon)、pH、全磷(Total phosphorus, P)贡献大。(3)和平县林地土壤肥力评价单元综合评价值IFI在0.19~0.73之间,根据综合评价值将肥力等级由低至高划为1至10级,和平县林地土壤肥力等级5级及以下等级面积占总面积达52.4%,6级及以上等级为47.6%,3、4、5、7、8级占比超过10%,分别为12.44%、16.19%、10.69%、10.01%、14.04%。整体分布有西高东低的特征,高等级肥力单元有向西部与北部集中的趋势。

关键词 GIS; 地统计学; 主成分分析; 林地土壤肥力评价; 评价单元

中图分类号: S714.8 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2022)03-0047-06

Comprehensive Evaluation of Fertility Quality in Heping Forest Soil Based on GIS and Geostatistics

QU Yi SUN Dongxiao WEI Dan ZHANG Geng

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract Soil fertility is the basis of land productivity, and a comprehensive evaluation of soil fertility in woodland can provide an important reference for forestry production management. In this study, combined with GIS, geostatistics and multivariate statistical analysis, a comprehensive evaluation of soil fertility in Heping county, Heyuan city, and a spatial distribution map of soil fertility grades in the woodland were drawn. The results are as follows: 1. A total of 2 510 soil fertility evaluation units in the forest land were divided, the minimum area of the evaluation unit was 1.67 hectares, the maximum area was 2 014.82 hm², the average value was 78.21 hm², and the total amount of woodland soil in Heping county was 189 000 hectares, reaching the level of refined evaluation. 2. The principal component analysis extracts 6 soil fertility indicators into 2 principal components, which can reflect 68% of the total information of the woodland soil in Heping county. The main component 1 contributes greatly to N and bulk weight, and the main component 2 contributes greatly to K, organic carbon, pH and P. 3. The comprehensive evaluation value of the soil fertility evaluation unit of Heping county forest land is

* 基金项目: 广东省生态林业建设项目“林地土壤调查”, 广东省林业科技计划项目(2019-07)。

第一作者: 曲仡(1998—), 男, 助理工程师, 主要从事森林土壤研究工作, E-mail: 740216298@qq.com。

通信作者: 张耕(1984—), 男, 工程师, 主要从事森林土壤研究工作, E-mail: gengzhang@sinogaf.cn。

between 0.19 and 0.73, and the fertility grade is classified from low to high to 10 according to the comprehensive evaluation value, and the area of soil fertility grade 5 and below in Heping county accounts for 52.4% of the total area, the grade 6 and above is 47.6%, and the grades 3, 4, 5, 7 and 8 account for more than 10%, respectively, 12.44%, 16.19%, 10.69%, 10.01% and 14.04%. The overall distribution has the characteristics of high west and low east, and the high-grade fertility units tend to concentrate to the west and north.

Key words GIS;geostatistics;PCA;soil fertility evaluation;evaluation unit

土壤是人类生产的重要资源,是土地生产力的基础,土壤肥力能够反映植物的生长潜力^[1]。开展森林林地土壤肥力评价研究,对于诊断林地土壤肥力状况、编制经营方案、防止林地退化等具有重要意义^[2]。目前研究主要运用隶属度函数与综合评价法^[3]、Nemerow指数法^[4]、主成分分析法与模糊综合评价法^[5]、模糊数学法^[6]等特定区域林地土壤肥力进行综合评价。但这些林地土壤肥力评价以土种、河流流域、种植区为单位,以人工林土壤^[3]、柠檬产区^[4]、笋竹林分^[5]、紫色土壤^[6]等为主,对以行政区为单位的林地土壤综合肥力评价研究较少。

本次研究结合地统计学与多元统计分析的方法,划分河源市和平县林地土壤肥力评价单元,计算林地土壤肥力综合指数,划分肥力等级,绘制和平县林地土壤肥力空间分布图,探讨当地林地土壤肥力影响因素,以期为当地林业管理部门制定政策、加强管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

和平县地处广东省东北部、东江上游、粤赣边境的九连山地区,属珠江大流域,位于东经114°41'~115°16',北纬24°05'~24°42'之间。辖区

总面积229 200 hm²,集体林区219 900 hm²,其中林业用地189 400 hm²,占集体林区的86.1%。属中亚热带季风气候,年平均降雨量1 717.1 mm,年平均无霜期308 d,日照百分率38%,年平均风速1.9 m/s。和平县境内地势较高,属丘陵山区县。西部、中部及西北部属山区,北部、东部及东南部多丘陵。谷底冲积平原零星分布于县内各地。北部及西北部山地地势较高,海拔多在500 m以上,南部和东南部地势较低,多在海拔500 m以下的丘陵地带。全县地势西北高东南低,由西北逐渐向东南倾斜。土壤类型主要为赤红壤、红壤,存在少部分黄壤。

1.2 样品采集与处理

通过Arcgis 10.7筛选和平县内林地,结合专题布点与随机布点,是样点在空间上随机分布均匀,并能够代表一定的土壤信息状况,共布置样点159个,如表1、图1。专题布点确保样点覆盖所有地形、水文的梯度变化和主要森林类型,随机布点确保样点分布均匀。土壤样品采集严格按照《森林土壤调查技术规程》(LY/T 2250-2014)^[7]的要求,取0~20 cm表层土壤为样品,在采集样点10 m²范围内挖掘3处剖面作为重复样本,并记录采样点中心处经纬度。土壤样品检测分析采用林业行业标准,如表2。

表1 和平县林地土壤调查样点布设数量

Table 1 Soil sample layout of Heping

区域 Township	布点数/个 Number of samples	区域 Township	布点数/个 Number of samples
优胜镇	6	长塘镇	13
大坝镇	19	阳明镇	6
热水镇	13	贝墩镇	8
彭寨镇	21	青州镇	7
上陵镇	21	合水镇	12
下车镇	28	公白镇	4
古寨镇	1	总计	159

表 2 土壤理化性质分析化验标准

Table 2 Soil physical and chemical properties analysis and determination methods

序号 Number	检测项目 Index	检验标准 Determination methods
1	有机碳	森林土壤有机碳的测定及碳氮比的计算 LY/T 1237—1999
2	氮	森林土壤氮的测定 LY/T 1228—2015
3	磷	森林土壤磷的测定 LY/T 1232—2015
4	钾	森林土壤钾的测定 LY/T 1234—2015
5	酸碱度	森林土壤 pH 值的测定 LY/T 1239—1999
6	容重	森林土壤水分 - 物理性质的测定 LY/T 1215—1999

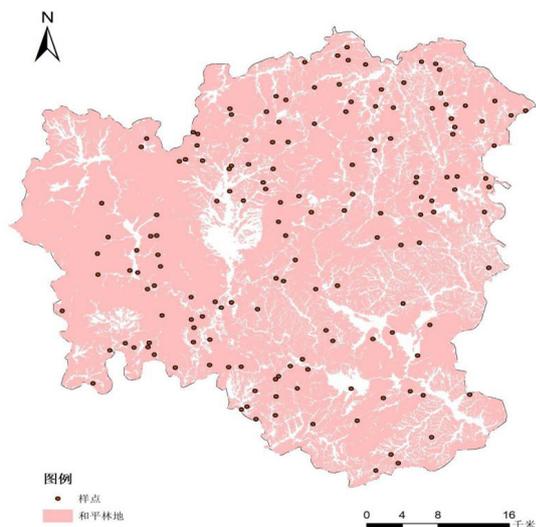


图 1 和平县林地土壤样点布设

Fig. 1 Soil sample layout of Heping

1.3 数据预处理

本次研究选取林地土壤肥力评价指标共 6 项, 包括 pH、容重 (Capacitive weight)、有机碳 (Organic carbon)、全氮 (Total nitrogen, N)、全钾 (Total potassium, K) 和全磷 (Total phosphorus, P)。采用正规化变换对检测数据进行标准化处理。

1.4 地统计学原理

地统计学是研究具有地理空间信息特性事物或现象的空间相互作用及其规律的数学方法^[8]。地统计学以大量样品数据为基础确定其空间分布格局及相关关系, 常用于与空间格局和变异相关的研究^[9]。

本次研究使用普通克里金法进行地统计学分析。其半变异函数模型中, 常用的有指数 (Exponential)、高斯 (Gaussian)、球状 (Spherical) 和线性无基台值 (Linear)、有基台值 (Linear to sill) 等模型。其表达式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h)]^2$$

式中, $\gamma(h)$ 为半变异函数; h 为步长; $N(h)$ 为观测样点对数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 x_i+h 的实测值。

半变异函数分析还涉及变程 (Range)、块金值 (Nugget)、基台值 (Sill)、块金系数、决定系数等重要参数。其中变程表示评价指标空间相关性的适用距离; 块金值表示数据测量误差以及随机因子影响程度; 基台值表示评价指标受结构性因子的影响程度; 块金系数表示评价指标的空间相关性; 决定系数反应模型拟合情况^[10]。

1.5 评价单元划分

本次研究通过地统计学方法, 将 GIS 与空间变异分析相结合, 依据林地土壤采集样品检测结果, 对和平县范围内的林地进行评价单元的划分, 确保每个评价单元内林地土壤肥力各评价指标均一稳定, 以提升林地土壤肥力评价精度与实用性。评价单元划分方法具体如下: 克里金插值法生成各评价指标图层, 半变异函数模型确认各指标空间相关性及拟合精度, 通过叠置分析将和平县林地土壤分割为基本评价单元。

1.6 主成分分析

主成分分析法是通过数据处理组合为新的互不相关的变量, 替代原始变量进行降维的方法^[11]。在不减少原始数据信息的前提下, 将原始数据转化为维数较少的特征成分, 是常用的降维、计算权重的方法。其计算公式为:

$$y_i = e_i^T X$$

其中, e_i^T 为正交单位化特征向量, X 为协方差矩阵。

在通过主成分分析进行降维后, 得到各主成分特征根与特征向量, 选取特征根大于 1 的主成分为关键主成分^[12], 计算各指标线性组合系数矩阵, 得出综合得分系数, 归一化处理后得到各指标权重。

1.7 林地土壤肥力综合评定及分级

本次研究采用加成法原理综合评定林地土壤肥力质量。将同一评价单元上相互交叉的同类因子采用加法合成, 求出林地土壤肥力质量综合指标 IFI。计算公式为:

$$IFI = \sum W_i \times N_i$$

将每个评价单元的综合值写入属性表, 采用等距法将和平县林地土壤质量等级由低到高分1~10级, 经过 Arcgis 10.7 处理后形成和平县林地土壤肥力等级分布图。

2 结果与分析

2.1 正态性检验

标准化处理样品检测结果, 并进行正态性检验, 各林地土壤肥力评价指标数据满足地统计学分析的假设原则, 正态性检验结果如表 3。

2.2 半变异函数分析

将数据输入 Arcgis 10.7, 通过地统计分析进行克里金插值, 生成林地土壤肥力评价指标空间插值分布图, 确保边缘对齐无拓扑错误。在地统计半变异函数分析过程中, 通过转换模型、调整参数来提高拟合度, 林地土壤肥力评价指标的半变异函数参数情况如表 4。决定系数中, 除 pH 外均大于 0.65, 其中 P、容重、N、有机碳、K 分别为 0.937、0.862、0.716、0.712、0.691, 说明拟合精度较好。块金系数显示, K、pH 大于 75%, 说

明由随机因素引起的空间变异性较大; P、容重小于 25%, 说明 P、容重的空间相关性很高; 有机碳、N 处于 25%~75% 之间, 存在一定的空间相关性。各指标块金值均低于 0.05, 说明此次采样机械误差小。各指标变程处于 2~25.10 km 之间, 说明各指标在其变程距离内存在空间相关性^[13]。

2.3 生成评价单元

使用 Arcgis 10.7 的叠置分析功能, 组合各评价指标的空间插值分布图, 生成评价单元^[14], 如图 2 所示。每个评价单元内林地土壤肥力各评价指标值均一稳定, 以此提升全县林地土壤肥力评价精度, 实现精细化林地土壤肥力评价。

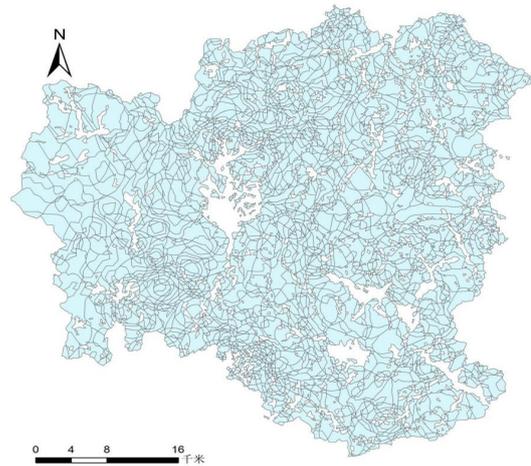


图 2 和平县林地土壤肥力等级基本评价单元
Fig. 2 Units of woodland fertility evaluation in Heping

表 3 和平县林地土壤肥力评价指标数据描述性统计

Table 3 Descriptive statistical table of soil fertility evaluation index data of forestland in Heping

评价指标 Index	样品量 N.	均值 Mean	标准差 SD.	方差 Variance	偏度 Skew.	峰度 Kurt
K	159	0.40	0.22	0.049	0.34	0.02
pH	159	0.40	0.19	0.036	0.42	-0.01
N	159	0.40	0.19	0.035	0.46	0.27
P	158	0.33	0.14	0.021	0.47	0.65
有机碳	158	0.59	0.16	0.026	-0.48	0.98
容重	159	0.52	0.21	0.044	-0.28	-0.35

表 4 半变异函数参数

Table 4 Experimental value and fitted value about semivariogram

评价指标 Index	块金值 C_0	基台值 C_0+C	变程 /km Mangle	块金系数 $\% C_0/(C_0+C)$	决定系数 R^2
K	0.039	0.040	25.10	79.83	0.691
pH	0.029	0.034	16.12	85.01	0.634
N	0.012	0.029	5.90	40.08	0.716
P	0.000	0.044	1.97	0.00	0.937
有机碳	0.011	0.017	20.46	62.18	0.712
容重	0.002	0.028	2.97	5.84	0.862

2.4 主成分分析结果

通过主成分分析法，获得各评价指标主成分特征值与贡献率如表 5，主成分分析成份矩阵与各评价指标权重值如表 6。由表 5 可知，主成分 1 与主成分 2 的特征根均大于 1，累积方差贡献率达 64.39%，高于 60%，因此主成分 1 与主成分 2 基本能反应林地土壤肥力信息，为关键主成分^[15]。其中，主成分 1 为 N、容重，主成分 2 为 K、有机碳、pH、P。由表 6 可知有机碳权重为 0.32，高，其余指标由大至小为 N、容重、K、P、pH。

表 5 评价指标主成分特征值与贡献率

Table 5 Eigenvalues and contribution of principal components

主成分 Component	特征值 Eigenvalue	贡献率 /% Contribution rate	累积贡献率 /% Cumulative rate
1	2.47	41.18	41.18
2	1.39	23.21	64.39
3	0.82	13.65	78.04
4	0.65	10.89	88.90
5	0.54	8.94	97.84
6	0.13	2.16	100

表 6 主成分分析成份矩阵与评价指标权重值

Table 6 Principal component analysis component matrix and evaluation index weight values

评选指标 Index	成份矩阵 Component matrix		权重 Weight value
	主成分 1 Principal ingredient 1	主成分 2 Principal ingredient 2	
K	0.109	0.845	0.19
pH	-0.578	0.434	-0.16
N	0.921	0.077	0.29
P	-0.443	0.448	0.09
有机碳	0.525	0.533	0.32
容重	0.896	0.006	0.28

2.5 和平县林地土壤肥力分布情况

采用等距法将和平县林地土壤肥力综合评价 IFI 由低到高分为 1~10 级，如表 7、图 3 所示。和平县林地土壤共计 18.9 万 hm^2 ，本次研究共划分肥力综合评价单元 2 510 个，评价单元最小面积为 1.67 hm^2 ，最大面积为 2 014.82 hm^2 ，均值为 78.21 hm^2 。各等级总面积处于 6 948.12~32 184.21 hm^2 之间，占总面积的比例为 3.49%~16.19%。其中 4 级肥力面积最大，占总面积的 16.19%，1 级

肥力面积最小，为 3.49%。5 级及以下等级肥力面积占总面积达 52.4%，6 级及以上等级面积占总面积比例达 47.6%，其中 3、4、5、7、8 级占比超过 10%，分别为 12.44%、16.19%、10.69%、10.01%、14.04%。在林地土壤肥力空间分布特征上，和平县西部地区主要为 7、8、9、10 级，中部地区为 5、6 级，东部地区为 4、3、2、1 级，总体来看和平县林地土壤肥力等级呈现西高东低的趋势。

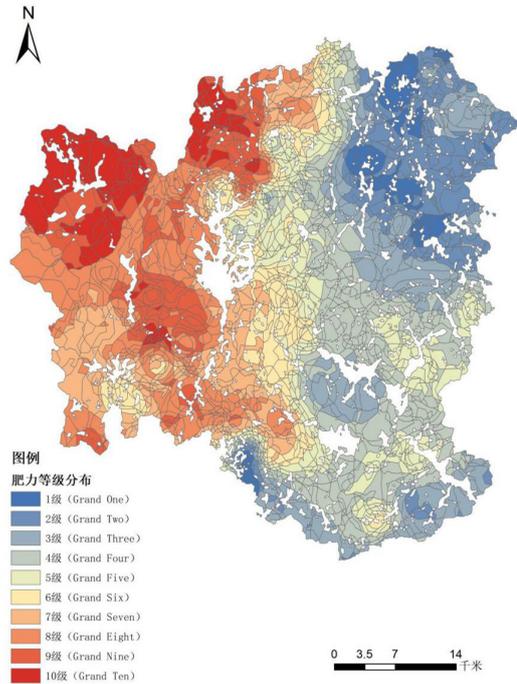


图 3 和平县林地土壤肥力分布

Fig. 3 Fertility level distribution of Heping forest soil

表 7 和平县林地土壤肥力等级分布面积

Table 7 Distribution area of forest soil fertility grade in Heping

肥力等级 Soil fertility grade	面积 / hm^2 Area	百分比 /% Percentage
1	6 948.12	3.49
2	19 120.51	9.62
3	24 733.09	12.44
4	32 184.21	16.19
5	21 245.22	10.69
6	14 473.91	7.28
7	19 895.63	10.01
8	27 904.92	14.04
9	17 104.65	8.60
10	15 211.52	7.65

3 结论与讨论

3.1 和平县林地土壤共计 189 000 hm², 本次研究共划分评价单元 2 510 个, 评价单元最小面积为 1.67 hm², 最大面积为 2 014.82 hm², 均值为 78.21 hm², 因此认为通过 Arcgis 10.7、地统计学及多元统计分析结合, 可以对县级行政区做出较为精细的林地土壤肥力质量评价, 并能简化评价结果, 将肥力等级分布直观、完整地呈现在一张分布图上。

3.2 在主成分分析中主成分 1 贡献率达到 41.18%, 说明 N、容重在此次研究中是影响和平县林地土壤肥力的首要因子。主成分 2 贡献率为 23.21%, 包括 K、有机碳、pH、P, 其中在成分矩阵中各指标由大至小为 K、有机碳、pH、P, 分别为 0.845、0.529、0.434、0.449, 说明影响程度由低到高为 K、有机碳、P、pH。

3.3 5 级及以下等级面积占总面积达 52.4%, 6 级及以上等级为 47.6%, 3、4、5、7、8 级占比超过 10%, 分别为 12.44%、16.19%、10.69%、10.01%、14.04%。整体分布为西部高东部低、北部高南部低。和平县属于丘陵地带, 东部与南部等地势平坦区域人为活动多, 包括开路、建屋、种植作物等行为, 导致和平县东部林地破碎化程度较高。与之相反, 和平县北部及西部地区, 海拔相对较高, 未受大范围人类活动影响, 林班内林相完整, 人为开垦、活动的痕迹较少。因此认为和平县东部及南部受人为影响较大, 导致林地土壤肥力较低, 受人为活动影响小的区域林地土壤肥力相对较高, 与本研究最终结果相吻合。如要提高和平县林地土壤肥力, 可以考虑以减少当地村民人为活动对林地的影响为主。但地方林权往往存在争议部分, 集体林地与国有林地犬牙交错, 难以形成集约化管治, 因此简单地考虑施肥、管护等往往不能达到良好效果。

参考文献

- [1] 王铭鑫, 范超, 高秉博, 等.融合半变异函数的空间随机森林插值方法[J].中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(3): 451-457.
- [2] 孙冬晓, 杨旗, 赵正勇, 等.云浮市森林土壤养分垂直分布模型的构建[J].林业与环境科学, 2020, 36(1): 1-8.
- [3] 朱家晷, 秦富仓, 李龙, 等.黄土丘陵区人工林典型林分林地土壤肥力综合评价[J].中国土壤与肥料, 2022(2): 9-16.
- [4] 闫素云, 周先艳, 杜玉霞, 等.云南省柠檬主产区林地土壤肥力特征与评价[J].中国南方果树, 2022, 51(1): 28-33.
- [5] 夏莉, 董文渊, 钟欢, 等.四种类型箬竹林分的林地土壤肥力诊断与综合评价[J].西部林业科学, 2022, 51(1): 62-69.
- [6] 陶睿, 王子芳, 高明, 等.重庆市丰都县紫色土养分空间变异及林地土壤肥力评价[J].土壤, 2017, 49(1): 155-161.
- [7] 国家林业局.森林土壤调查技术规程: LY/T 2250-2014[S].北京: 中国标准出版社, 2014.
- [8] 舒彦军.地统计学半变异函数球状模型优化算法研究[D].南昌: 东华理工大学, 2012.
- [9] 李昊.基于地统计学方法的土壤重金属污染物空间分布及扩散特征研究[D].太原: 太原理工大学, 2021.
- [10] 姚玲, 杨洋, 孙贯芳, 等.基于地统计分析的河套灌区地下水埋深与矿化度时空变异规律研究[J].灌溉排水学报, 2020, 39(8): 111-121.
- [11] 姜小芮.基于主成分分析的房建类项目工期风险管理研究[D].青岛: 青岛大学, 2021.
- [12] 赵瑞芬, 程滨, 滑小赞, 等.基于主成分分析的山西省核桃主产区土壤肥力评价[J].山西农业大学学报(自然科学版), 2020, 40(6): 61-68.
- [13] 姚玲, 杨洋, 孙贯芳, 等.基于地统计分析的河套灌区地下水埋深与矿化度时空变异规律研究[J].灌溉排水学报, 2020, 39(8): 111-121.
- [14] 廖桂堂, 李廷轩, 王永东, 等.基于GIS和地统计学的低山茶园林地土壤肥力质量评价[J].生态学报, 2007(5): 1978-1986.
- [15] 吴明隆.问卷统计分析实务: SPSS操作与应用[M].重庆: 重庆大学出版社, 2010.