

湘赣边界山区林地土壤养分分异规律

魏志红^{1,2}, 姜小三¹, 黄耀欢², 庄大方^{2,1}, 戴守政^{1,2}, 李飞³

(1. 南京农业大学, 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 青海省生态环境遥感监测中心, 青海 西宁 810000)

摘要: [目的] 对湘赣边界山区林地不同海拔高度及植被类型影响下的土壤养分特征和空间分异规律进行研究, 为林地土壤的合理利用及培肥提供依据。[方法] 采集林地表层土壤, 测得各养分指标含量, 运用修正的内梅罗综合指数法和变异系数法, 对该区土壤综合肥力和空间变异性进行评价。[结果] (1) 试验区土壤整体呈酸性, 有机质和全氮养分含量较高, 但普遍缺乏速效养分(磷、钾)。(2) 随着从丘陵、低山到中山海拔等级的升高, 土壤有机质、全氮、速效磷含量及综合肥力系数不断增加; pH 值、有机质、全氮的空间变异性不断减小。(3) 不同林地生态系统覆被下土壤综合肥力表现为: 灌木林 > 针阔混交林 > 毛竹林 > 阔叶林 > 针叶林; 空间变异性规律为: 灌木林 > 针叶林 > 毛竹林 > 阔叶林 > 针阔混交林。(4) 人工林的土壤有机质、全氮、速效钾、pH 值及土壤综合肥力都低于天然林。[结论] 中山海拔等级林地、针阔混交林、天然林对维持良好的土壤养分状况具有更大潜力。

关键词: 湘赣边界山区; 林地; 土壤养分; 空间分异

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0349-07

中图分类号: S151.9, S714.8

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.063

Spatial Variation of Forest Soil Nutrient in Hu'nan—Jiangxi Boundary Mountain Areas

WEI Zhihong^{1,2}, JIANG Xiaosan¹, HUANG Yaohuan², ZHUANG Dafang^{2,1}, DAI Shouzheng^{1,2}, LI Fei³

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101,

China; 3. Qinghai Ecological and Environmental Remote Sensing Monitor Center, Xining, Qinghai 810000, China)

Abstract: [Objective] To improve the studies on ecological conditions, utilization, and protection of forest resources, the soil spatial variation and the spatial distribution of sample sites in forest of Hu'nan—Jiangxi boundary mountain areas were analyzed. [Methods] The soil nutrient content was measured, and the comprehensive advantage of soil nutrients was evaluated by the changed Nemerow formula, the soil spatial variability was evaluated by the coefficient of variation(CV). [Results] (1) Soils of the experimental region were characterized as acidic and had high values of soil organic matter(SOM) and soil total nitrogen(STN) generally, but were all lack of soil available phosphorus(SAP) and soil available potassium(SAK) nutrients, (2) With the rise of elevation level of hill, low mountain, middle mountain, the values of soil pH, SOM, STN, SAP and comprehensive fertility coefficient increased, but the spatial variation of soil pH, SOM and STN decreased. (3) According to the different forest types, the comprehensive advantage of soil nutrients were made as follow: shrubs > the mixed forest > *Phyllostachys pubescens* forest > broad-leaved forest > coniferous forest, the order of the spatial variation were: shrubs > coniferous forest > *P. pubescens* forest > broad-leaved forest > the mixed forest. (4) All the soil nutrient indicators of natural forest, except the SAP, were higher than that of plantation. [Conclusion] The forest in middle mountain, mixed forest and natural forest have more potential to maintain good soil nutrient status in the study area.

Keywords: Hunan—Jiangxi border mountain areas; forest; soil nutrients; spatial variation

收稿日期: 2014-05-26

修回日期: 2014-06-13

资助项目: 科技基础性工作专项“我国南方丘陵山区综合科学考察”(SQ2012FY4910045); 国家自然科学基金项目“基于 GRACE 陆地水储量变化反演的西南五省干旱监测研究”(51309210); 青海省科学技术厅科技基础条件平台建设计划“青海省可可西里国家级自然保护区天地一体化综合监测平台研发”(2013-T-Y28)

第一作者: 魏志红(1989—), 女(汉族), 河南省南阳市人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境信息系统。E-mail: weizh@lreis.ac.cn.

通信作者: 姜小三(1967—), 男(汉族), 江苏省姜堰县人, 博士, 副教授, 主要从事资源环境信息系统研究。E-mail: gis@njau.edu.cn.

土壤是林地生态系统重要的组成部分。土壤在诸多自然因素和人为因素共同作用下复杂的形成过程决定了土壤养分状况会呈现出缀块性或梯度格局的异质性分布规律^[1-2]。林地土壤养分对林地生产力具有决定性的影响,持久地维持和提高土壤肥力是林地生态系统稳定和林业可持续发展的重要因素^[3]。因此,国内外的林地经营实践都非常重视对土壤养分状况及其分异规律的探讨。这些研究涵盖了林地土壤养分随着不同的林分类型、土壤类型、土壤深度、海拔、坡度、坡向以及人类活动方式等因素呈现出的不同分异规律^[4-13]。其中对林地植被和海拔对土壤养分状况分异规律影响的研究更是热点问题。植被的出现及其演替会影响土壤的形成和发育,植被的物种组成和结构与土壤养分元素的循环有关,不同林地类型下土壤养分分布状况存在明显差异^[8,10-12]。海拔作为重要山地地形因子,会引起气候特征、林分类型、土壤类型随之改变,导致土壤理化性质的差异,土壤理化性状指标与海拔梯度有明显的相关性^[5,9,13]。但土壤养分状况在不同的研究区域受林分类型、地形等因素影响而表现出的分异规律不尽相同。

中国南方丘陵山区所涵盖的东南低山丘陵林区作为中国的 5 大林区之一,有最大的林地面积和领先的林业总产值,但该区域多山地丘陵,土壤抗蚀性差,易发生水土流失,是一个典型的生态脆弱区域。林地在保持水土、涵养水源、改善生态环境等方面的功能显著,探讨该区域林地土壤养分的空间分异规律,并将其应用到指导林地的生产和实践中,会对林地生产和生态环境保护产生积极的影响。然而,对南方丘陵山区土壤养分状况的认识多基于 30 a 前的土壤普查,数据陈旧。湘赣边界山区是居于南方丘陵山区中心地带的较大尺度的典型区域,对其林地土壤养分空间分异规律的研究具有重要意义,然而,目前还没有对该区域土壤养分状况的研究发表。因此,本文以湘赣边界山区林地土壤为研究对象,从林分类型、海拔高度等方面探讨该区域土壤养分特征的空间分异规律,以期为中国南方大面积丘陵山区林地土壤健康、高效、可持续利用和保护提供科学依据。

1 研究区概况

湘赣边界山区位于湖南、江西两省境内,介于东经 $109^{\circ}55' - 112^{\circ}26'$,北纬 $25^{\circ}14' - 30^{\circ}00'$,是由一系列呈东北—西南走向的平行山地(罗霄山脉)雁行排列于湘赣边境上组成(图 1),是湘江和赣江的分水岭,丘陵山地面积约占全区土地面积的 82.4%。地貌上表现为岭谷相间,成土母质主要是花岗岩和片麻

岩,土壤地带性规律明显,随海拔高度的增加,主要土壤类型由红壤向黄红壤、黄壤、暗黄棕壤不断变化。全区属亚热带湿润季风气候,冬冷夏热,年际变化较大,光、热、水资源丰富,且高值基本同步,山区山地气候垂直变化明显。年均气温 $15 \sim 20^{\circ}\text{C}$,年均降雨量 $1\ 800 \sim 2\ 000\ \text{mm}$,年日照时数 $1\ 300 \sim 1\ 800\ \text{h}$,无霜期 $250 \sim 300\ \text{d}$ 。地带性植被为东部亚热带常绿阔叶林,属于湘赣栲栢林松、杉林区,以针叶林和针阔混交林面积最大、分布最广,植被繁多,其组成种类以杉、松、楠、樟、木荷、枫香、苦槠、青冈栎、毛竹等为代表,主要以杉、松、阔及竹为主,低丘岗地多有油茶林地分布。近年来,人工林地面积不断扩增,增加了经济创收,但同时造成了地带性天然常绿阔叶林面积大幅度减少、树种结构单一、森林幼龄化严重,这对土壤质量的下降和水土流失的加剧带来隐患。

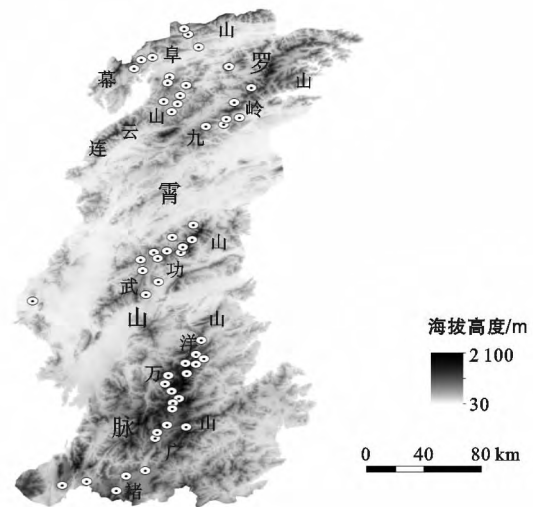


图 1 湘赣边界山区采样地分布

2 材料与方法

2.1 土壤样品的采集与分析

2012 年 10 月,在湘赣边界山区内,综合 TM 影像、地形图、1:10 万土地利用类型图及其他基础地理数据,规划出具有可行性的野外综合考察路线;沿野外考察路线,在对不同林地生态系统、优势植被、地形因素、人类活动情况进行详细了解的基础上,选取有代表性的采样地 56 个,用“S”形取样法获得采样地内 0—20 cm 土层深度的多点混合样。记录采样地的经纬度和高程信息及景观信息,获得采样地分布如图 1 所示,采样地概况见表 1。土样测定项目为 pH 值、有机质、全氮、速效磷、速效钾。其中,土壤 pH 值的测定使用 IQ 150 土壤原位 pH 仪在野外即时获得;

其他理化指标在土壤样品带回实验室处理后进行室内测定。将土样去除根系和石砾后,阴凉处风干、研磨、过筛处理;采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质

含量,半微量开氏法测全氮含量,稀酸浸提分光光度法测速效磷含量,醋酸铵浸提火焰光度法测速效钾的含量。

表 1 湘赣边界山区供试土壤采样地概况

林地类型	主要树种	起源	林龄/ a	平均 郁闭度	经营措施	采样点编号	海拔高度/m
灌木林	油茶	人工	12	0.76	整形修剪、部分垦复施肥	23,25,35,48,52	506,823,449,125,553
阔叶林	板栗树	人工	9	0.60	每年全垦抚育	2	285
阔叶林	甜槠、楠木	天然	20	0.85	自然生长	44	686
阔叶林	栎树、木荷	人工	8	0.81	抚育间伐	20,22,47	96~285
针阔混交林	马尾松、青冈	人工	14	0.76	抚育间伐	6,15,40,50,	199,337,792,811
针阔混交林	台湾松、罗浮栲	天然	26	0.70	自然生长	34	670
针叶林	马尾松、杉木	天然	32	0.74	自然生长	11,13,24,26	235,260,651,824
针叶林	马尾松、杉木	人工	17	0.63	自然生长及抚育间伐	1,7-10,12,14,16,19,28,29, 36-39,41-43,45-49,51,53-56	169~1301
毛竹林	毛竹	天然	10	0.91	自然生长	30-33	812~949,706
毛竹林	毛竹	人工	8	0.86	带状整地、抚育间伐	5,17,18,21,27	178~441,760

2.2 土壤养分含量综合评价方法

土壤各独立的养分指标难以直接反映土壤养分的整体水平,为比较全面客观地反映土壤养分的整体状况,本文采用修正的内梅罗(Nemero)综合指数法^[14]对土壤养分含量进行定量综合评价。将土壤 pH 值、有机质、全氮、有效磷、有效钾 5 项养分因子作为基本参数,参数标准化处理后获得综合肥力系数,继而针对不同分类范畴下林地土壤养分的综合肥力进行比较。具体计算方法为:

(1) 参数的标准化处理。对各养分因子参数按如下方法进行标准化^[14],以消除各参数之间的量纲差别,获得各养分因子的分肥力系数。分肥力系数 P_i 的计算方法如下:

$$P_i = \begin{cases} C_i/X_a & (C_i \leq X_a) \\ 1 + (C_i - X_a)/(X_c - X_a) & (X_a < C_i \leq X_c) \\ 2 + (C_i - X_c)/(X_p - X_c) & (X_c < C_i \leq X_p) \\ 3 & (C_i > X_p) \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_i ——分肥力系数,即土壤属性 i ($i=1,2,3,4,5$) 的肥力系数; C_i ——第 i 个属性的实际测定值; X_p, X_a ——分级标准上、下限; X_c ——介于分级标准上下限间;属性值分级标准 (X_a, X_c, X_p) 主要结合第二次全国土壤普查标准及当地土壤特性,参见阚文杰等^[14]的研究结果,其中 pH 值的分级标准选用 $X_a:4.5, X_c:5.5, X_p:6.5$ 。

通过该方法标准化后, P_i 参数值介于 0~3 之间,优点:相同参数间可比性较强;同一级别各属性分肥力系数较接近,可比性高,测定值超过上限时,分肥力系数不再提高,反映出作物对土壤属性的要求不是越

高越好。

(2) 土壤综合肥力系数的计算和分级。综合肥力系数的计算可采用加和法、平均值法、加权评价值法等,本文采用修正的内梅罗(Nemero)公式对土壤综合肥力系数进行计算并分级:

$$P = \sqrt{\frac{(P_{\text{平均}})^2 + (P_{\text{最小}})^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \quad (2)$$

式中: P ——土壤综合肥力系数; $P_{\text{平均}}$ ——土壤各属性分肥力系数的平均值; $P_{\text{最小}}$ ——土壤各分肥力系数中的最小值; n ——参评土壤属性的项数。

将土壤各分肥力系数分别假定为 3, 2 和 1, 再根据 n 值 ($n=5$), 按公式 (5) 计算得出对应的综合肥力系数 P_3, P_2 和 P_1 , 分别为 2.4, 1.6 和 0.8。当某土壤肥力系数 $P \geq 2.4$ 时, 表示土壤肥力等级为优; $1.6 \leq P < 2.4$ 时, 表示土壤肥力等级为良; $0.8 \leq P < 1.6$ 时, 表示土壤肥力等级为中; $P < 0.8$ 时, 表示土壤肥力等级为差。

2.3 土壤养分空间变异性的评价方法

土壤养分空间变异性分析是土壤养分管理和合理施肥的基础, 变异系数是土壤性质的内在反映, 能够区别不同土壤养分对外界条件的敏感性, 常被用来评价土壤养分的变异性。变异系数 (C_v), 即标准差与均值比值的百分数, 计算方法见公式 (6):

$$C_v = (SD/M) \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_v ——变异系数; SD ——标准差; M ——算术平均值。

本文采用 Nielsen 等^[15]的划分标准对变异系数进行分等定级, 对土壤养分的空间变异性进行评价。

C_v 值 $\leq 10\%$ 时为弱变异, 在 $10\% \sim 100\%$ 之间为中等程度变异, $\geq 100\%$ 时为强变异。在对各类型土壤养分的整体变异情况进行比较时, 本研究利用每一类型土壤所有参评因子(土壤 pH 值、有机质、全氮、有效磷、有效钾) 变异系数的算术平均值作为评价指标。在对各类型土壤养分的整体变异情况进行比较时, 本研究利用每一类型土壤所有参评因子(土壤 pH 值、有机质、全氮、有效磷、有效钾) 变异系数的算术平均值作为评价指标。

3 结果与分析

3.1 土壤养分整体分布特征

分析结果(表 2)表明, 研究区内土壤综合肥力系数

为 1.05, 肥力评语为中等。表层土壤各指标养分含量的变幅分别为, 土壤 pH 值 4.35~6.15, 有机质含量 10.83~76.71 g/kg, 土壤全氮含量 0.45~3.50 g/kg, 速效磷含量 1.05~8.19 mg/kg, 速效钾含量 30.86~292.12 mg/kg; 结合第二次全国土壤普查养分等级分级标准^[16]可知, 土壤全体样本呈酸性, 70% 以上样本处于酸性水平; 土壤有机质有超过半数的样本处于养分等级一级水平; 土壤全氮有近 1/2 处于养分等级一级水平; 土壤速效磷含量有 80% 以上处于最低水平, 100% 的样本都处于 4, 5, 6 这 3 个低养分含量级别; 土壤速效钾含量属于整体偏低水平, 养分均值处于 4 级水平。总的来说, 该试验区土壤整体呈酸性, 有机质和全氮含量较高, 但普遍缺乏速效磷、钾养分。

表 2 湘赣边界山区土壤养分整体分布特征

项目	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%
有机质/(g·kg ⁻¹)	10.83	76.71	41.168	16.159	39.2
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.45	3.50	1.821	0.728	39.8
速磷/(mg·kg ⁻¹)	1.05	8.19	2.521	1.296	51.4
速钾/(mg·kg ⁻¹)	30.86	292.12	83.838	48.396	57.7
pH 值	4.35	6.15	5.285	0.397	7.5
综合评价	1.05(综合肥力系数)				39.1

依变异系数的分级标准, 土壤整体变异系数为 39.2%, 呈中等程度变异。除了 pH 值的变异系数小于 10%, 为弱变异, 其他各养分含量指标都在 10%~100%, 即都呈现出中等程度变异, 但其中速效磷、钾养分含量的变异程度又明显大于有机质和全氮的养分含量, 反映了土壤养分含量的异质性分布特点。

3.2 不同海拔高度土壤养分分异规律

山区地形起伏大, 复杂的地形分异对林地土壤养分的转移和分配有不同影响。海拔高度作为重要的地形因子, 会对林地土壤养分分异状况产生显著影

响, 且海拔数据较坡长、坡度、坡向, 等其他地形因子更易于获得, 使得对不同海拔高度下林地土壤养分特征的研究更具实际意义。据陈志明和刘振东等^[17]对中国基本地貌类型中海拔高度的分级进行的研究, 可将中国山地海拔分为 6 级。本研究采样点的高程范围在 95~1 302 m 之间, 处于丘陵海拔(<500 m)、低山海拔(500~800 m)、中山海拔(800~2 000 m) 3 个海拔等级范围内, 故本研究在这 3 个海拔等级内, 探讨不同海拔高度对林地土壤养分的分异影响。具体分析结果见表 3。

表 3 不同海拔等级下林地土壤养分分异特征

海拔等级	综合肥力系数	pH 值	养分含量均值				变异系数/%					
			有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	速磷/(g·kg ⁻¹)	速钾/(g·kg ⁻¹)	pH 值	有机质	全氮	速磷	速钾	均值
丘陵海拔	0.96	5.22	31.62	1.49	2.16	83.20	8.2	40.2	44.2	32.2	63.9	37.8
低山海拔	1.09	5.36	44.36	1.89	2.87	89.18	7.3	38.8	33.1	56.5	67.5	40.6
中山海拔	1.14	5.33	53.09	2.27	2.94	79.84	6.6	19.7	30.2	77.6	31.7	33.1

表 3 结果显示, 在丘陵海拔、低山海拔、中山海拔 3 个海拔等级内, 随着海拔等级的升高, 土壤有机质、全氮和速效磷的含量不断增大。其中, 有机质、全氮含量的变化趋势主要由随海拔高度的升高带来的温度的降低和湿度的增加引起, 这些变化有利于土壤有

机质的积累; 而含有有机质多的土壤固磷作用往往较弱, 可以提高磷的有效性^[18], 这有利于速效磷养分的积累, 解释了土壤速效磷含量所呈现出的变化趋势。另外, 土壤 pH 值和土壤速效钾表现出先升高后降低的变化趋势。

随着海拔等级的升高,土壤 pH 值、有机质、全氮 3 项肥力因子的变异系数都不断降低,即空间变异性不断减小,这与随着海拔升高人为干扰强度降低并且林分类型趋向单一有关。而土壤速效磷的空间分异性不断增大,速效钾和土壤整体养分含量的空间变异性是先增大后减小。

总的来说,研究区内中山海拔等级处土壤养分综合肥力系数(1.14>1.05)和变异系数均值(33.1%<39.2%)都优于土壤养分整体状况。如图 2 所示,在 3 个海拔等级内具有最高的综合肥力系数和最低的空间变异性,呈现出最好的土壤养分状况。

3.3 不同林地生态系统土壤养分分异规律

林地的植被组成与结构和养分元素的循环有关,土壤养分特征与植物群落的演替密切相关^[19]。按林地的自然属性将采样地分类,进行阔叶林、灌木林、针

叶林、毛竹林和针阔混交林这 5 种不同林地生态系统下土壤的养分特征分析,可以从偏重自然生态的角度去探究不同林地生态系统对土壤养分分异特征的影响。将土壤样本按采样地的林地类型进行归类并进行养分特征分析,得到不同林地生态系统下土壤养分分异特征见表 4。

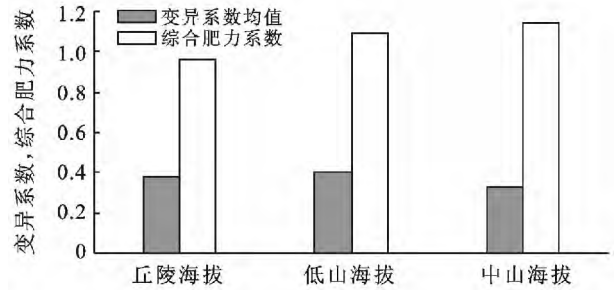


图 2 不同海拔等级下林地土壤养分综合特征

表 4 不同林地类型下土壤养分分异特征

土壤养分指标	养分含量					变异系数/%				
	阔叶林	灌木林	针叶林	毛竹林	针阔混交林	阔叶林	灌木林	针叶林	毛竹林	针阔混交林
有机质/(g·kg ⁻¹)	35.10	38.01	40.65	41.08	62.71	29.7	29.0	43.4	29.9	20.0
全氮/(g·kg ⁻¹)	2.00	1.64	1.70	2.13	2.26	24.9	31.5	44.4	40.1	3.2
速磷/(mg·kg ⁻¹)	2.31	5.15	2.19	2.69	2.67	16.0	82.5	34.3	25.7	13.4
速钾/(mg·kg ⁻¹)	118.83	89.00	72.76	105.33	77.92	67.5	51.2	44.6	70.7	28.2
pH 均值	5.33	5.30	5.18	5.59	5.34	9.9	9.4	7.2	4.4	6.7
综合评价	1.12	1.20	0.98	1.15	1.16	29.6	40.7	34.8	34.2	14.3

3.3.1 不同林地生态系统对土壤各养分指标的影响

如表 4 所示,针阔混交林下土壤有机质含量显著高于其他类型($p < 0.05$),这与针阔混交林具有较多的凋落物归还量和较常绿阔叶林更低的凋落物分解率^[20]有关。各植被覆被下的土壤全氮含量差异不显著,整体含量较高,都处于 1.64~2.26 g/kg 之间;灌木林下土壤速效磷含量显著高于其他类型($p < 0.05$),均值为 5.15 mg/kg,这与采样灌木林多油茶林地,油茶林地因施肥有明显的磷素高值有关,但整体上各林地类型覆被下的土壤速效磷含量仍处于较低水平;在土壤速效钾含量方面,阔叶林的含量显著高于针叶林的含量($p < 0.05$);各植被覆被类型下土壤 pH 值都居于偏酸水平,但针叶林的酸性显著高于毛竹林的酸性($p < 0.05$),这与土壤微生物的活动,以及亚热带针叶林消耗不掉所有的矿化氮,而随着硝态氮淋溶的不断进行,阳离子的大量输出从而导致土壤酸化,使针叶林下土壤呈现出较强的酸性有关^[11]。

3.3.2 不同林地生态系统对土壤综合指标的影响

根据土壤养分含量综合评价方法和土壤养分空间变异性的评价方法,获得各林地类型下土壤养分的综合肥力系数和变异系数的均值,结果如图 3 所示。

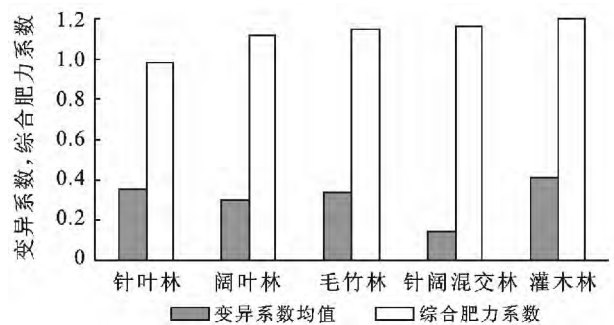


图 3 不同林地类型下土壤养分综合特征

5 种林地类型下土壤综合肥力系数:灌木林>针阔混交林>毛竹林>阔叶林>针叶林,肥力评价为中等,但只有针叶林的综合肥力状况低于土壤养分整体水平(0.98<1.05)。5 种林地类型下变异系数均值大小:灌木林>针叶林>毛竹林>阔叶林>针阔混交林,且都呈中等程度变异。土壤综合肥力系数越大,土壤综合肥力状况越好,土壤养分变异系数的均值越小,土壤养分状况的变异程度越小、稳定性越好。可以看出,灌木林、针阔混交林的土壤有最好的综合肥力,其次为毛竹林,单一的阔叶林和针叶林综合肥力最差。由于灌木林多为不同种类的经济林种,虽有最高的土壤养分综合,但却有最大的变异系数,不能

呈现出稳定均一性;而针阔混交林不仅具有较高的综合肥力系数,又具有最低的变异系数均值,土壤综合肥力系数($1.16 > 1.05$)和变异系数均值($14.0\% < 39.2\%$)都优于土壤养分整体状况,呈现出最好的土壤养分状况,所以,针阔混交林对维护研究区林地土壤的自肥能力具有最大的潜力。因此,要加强对已有针阔混交林的保护,并适度提倡针阔混交的造林绿化工程,防止土壤肥力衰退,保持林业持续发展。

3.4 天然林和人工林下土壤养分分异规律

天然林又称自然林,指依靠自然能力形成的森林,而人工林是采用人工播种、栽植或扦插等方法和技术措施营造培育而成的林地。与天然林相比,人工林从造林开始就伴随着一系列的人类经营管理措施,等人类活动干扰。本文将采样地划分为人工林与天然林进行土壤养分特征的分析,可从偏重人类活动方面去探究林地土壤养分的分异规律。对照第二次土壤普查养分分级标准^[16],获得各单项养分含量均值所处的养分等级;并依土壤养分含量综合评价方法和土壤养分空间变异性的评价方法得出土壤肥力以及土壤空间变异的综合评价结果,结果显示如图 4 所示。

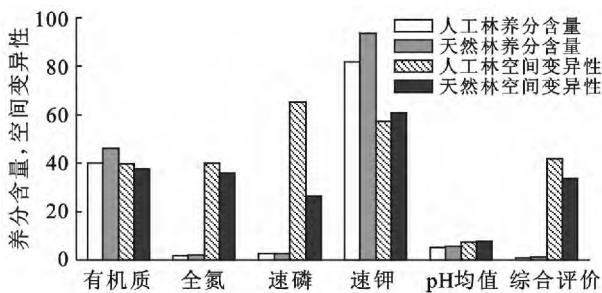


图 4 人工林和天然林的土壤养分分异特征

依图 4 结果,从各单项养分指标含量看,除了速效磷含量以外,土壤有机质、全氮、速效钾、pH 值都是人工林低于天然林,其中人工林 pH 值低于天然林差异显著($p < 0.05$);土壤养分空间变异性方面,有机质、全氮、速磷都是天然林低于人工林。

从养分因子综合指标看,如图 4 综合评价结果所显示,土壤综合肥力为人工林(1.03) < 林地整体(1.05) < 天然林(1.12),肥力评价均为中等;土壤整体空间变异性为人工林(41.8%) > 林地整体(39.2%) > 天然林(33.6%),都呈现出中等程度变异。这说明在南方土壤呈酸性本低、生态系统脆弱的大环境下,天然林较人工林可以更好的维持良好的土壤养分性状。是由于山区丘陵地带土壤侵蚀原本就较平地严重,人工林在未达到一定的郁闭度而发挥水

土保持功能时,其减少土壤侵蚀导致的表层养分流失的能力会比天然林差很多;同时,除了部分人工经济林的垦复施肥措施可以增加土壤养分含量的积累,人工林的整地、采伐作业,等其他多数经营措施,都会对林地土壤带来不同程度的人为干扰作用,产生土壤扰动、干扰地被植物,减少枯枝落叶层的厚度、数量;这些都会影响人工林地表层土壤养分的转化与积累,并增大其土壤养分的空间变异性。

4 结论

(1) 研究区土壤整体呈酸性,有机质和全氮养分含量较高,但普遍缺乏速效养分 P, K, 研究区整体土壤综合肥力系数为 1.05, 肥力评语为中等。因此,在以后的林业生产中,如果适当添加磷肥、钾肥,林地土壤综合肥力以及林业生产力可能会得到更大提高。土壤整体变异系数为 39.2%, 呈中等程度变异。除了 pH 值为弱变异,其他各养分含量指标都呈现出中等程度变异,但其中速效磷、钾养分含量的变异程度又明显大于有机质和全氮的养分含量。

(2) 随着海拔等级的升高,山地气候特征、林分类型、土壤类型随之发生梯度改变,这导致了土壤养分状况也表现出明显的梯度分异规律。研究区土壤有机质、全氮、速效磷的含量随着海拔等级的升高不断增大,这与程先福等^[19]对江西省兴国县的研究结果相一致,但却与张巧明等^[13]对秦岭火地塘林区土壤速效磷含量随海拔升高而下降的研究结果正相反,这表明土壤养分的海拔分异规律会因研究区地域较大的差异而有所不同。同时,本研究进一步得出土壤综合肥力也随海拔等级的升高不断增大。在空间变异性方面,土壤 pH 值、有机质、全氮 3 项肥力因子随海拔等级的升高不断降低。

(3) 植被的物种组成和结构与土壤养分元素的循环密切相关。5 种林地类型下土壤养分分布状况存在明显差异。针阔混交林下土壤有机质含量(62.70 g/kg)和灌木林下土壤速效磷含量(5.15 mg/kg)都显著高于其他类型;各林地类型下的土壤全氮含量差异不显著,整体含量较高,都处于 $1.64 \sim 2.26 \text{ g/kg}$ 之间;阔叶林的土壤速效钾含量高于针叶林,针叶林的酸性高于毛竹林都具有差异显著性。土壤综合肥力系数:灌木林(1.2) > 针阔混交林(1.16) > 毛竹林(1.15) > 阔叶林(1.12) > 针叶林(0.98),变异系数均值大小:灌木林(40.7%) > 针叶林(34.8%) > 毛竹林(34.2%) > 阔叶林(29.6%) > 针阔混交林(14.3%)。可见,针阔混交林保持土壤肥力及养分稳定性的能力都较强,而针叶林都较弱。建议在以后的林业生产实

践中要尽可能的营造针阔混交林,已有的针叶林可向针阔混交林方向做适当调整,防止土壤肥力下降和土壤酸化的加剧。

(4) 人工林和天然林的土壤养分分异特征明显。除了速效磷含量以外,人工林的土壤有机质、全氮、速效钾、pH 值都低于天然林,其中人工林 pH 值低于天然林差异显著 ($p < 0.05$)。土壤综合肥力为人工林 (1.03) < 天然林 (1.12), 土壤整体空间变异性为人工林 (41.8%) > 天然林 (33.6%)。这说明在南方土壤呈酸性本低、生态系统脆弱的大环境下,天然林较人工林可以更好的维持良好的土壤养分性状。

(5) 相对于其他研究多关注于土壤养分单项指标的分异规律,本研究从土壤养分综合指标方面探讨了湘赣边界山区受不同海拔高度等级和林地植被类型表现出的土壤养分的分异规律。得出,土壤综合肥力系数:中山海拔等级林地 (1.14)、针阔混交林 (1.16) 和天然林 (1.12) 都大于林地整地 (1.05), 变异系数均值:中山海拔等级林地 (33.1%)、针阔混交林 (14.0%) 和天然林 (33.6%) 都小于林地整体 (39.2%), 越高的综合肥力系数和较低的变异系数代表了土壤越好的保持土壤肥力及养分稳定性的能力。因此,中山海拔等处林地、针阔混交林地和天然林地对维护山区林地土壤的自肥能力有较大的潜力,在林地生产实践中更要注重对符合该条件的林地进行保护,以保证湘赣边界山区林地生态系统的安全与稳定性。

致谢:本文在撰写过程中得到中国科学院地理科学与资源研究所江东和南京农业大学刘志鹏老师给予的耐心指导和无私帮助,以及中国科学院的宋大平、秦瑞、付晶莹等在野外采样及室内试验分析过程中的帮助,在此一并致谢!

[参 考 文 献]

- [1] Heuvelink G, Webster R. Modelling soil variation: past, present, and future[J]. *Geoderma*, 2001, 100(3):269-301.
- [2] Lin H, Wheeler D, Bell J, et al. Assessment of soil spatial variability at multiple scales[J]. *Ecological Modelling*, 2005, 182(3):271-290.
- [3] 杨晓娟,王海燕,刘玲,等.吉林省东部低山丘陵区 4 种林分类型林地的土壤肥力分析[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(4):142-148.
- [4] 李明辉,彭少麟,申卫军,等.丘塘景观植被恢复与土壤养分空间分异规律研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(S):72-75.
- [5] 吕世丽,李新平,李文斌,等.牛背梁自然保护区不同海拔高度森林土壤养分特征分析[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2013, 41(4):161-168.
- [6] 张忠华,胡刚,祝介东,等.喀斯特森林土壤养分的空间异质性及其对树种分布的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(10):1038-1049.
- [7] Lauber C L, Strickland M S, Bradford M A, et al. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9):2407-2415.
- [8] Sayer E J, Wright S J, Tanner E V, et al. Variable responses of lowland tropical forest nutrient status to fertilization and litter manipulation [J]. *Ecosystems*, 2012, 15(3):387-400.
- [9] Martinson G O, Corre M D, Veldkamp E. Responses of nitrous oxide fluxes and soil nitrogen cycling to nutrient additions in montane forests along an elevation gradient in Southern Ecuador[J]. *Biogeochemistry*, 2013, 112(1/3):625-636.
- [10] 蒋文伟,周国模,余树全,等.安吉山地主要森林类型土壤养分状况的研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(4):73-76.
- [11] 罗歆,代数,何丙辉,等.缙云山不同植被类型林下土壤养分含量及物理性质研究[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(1):64-69.
- [12] 孙艳红,张洪江,程金花,等.缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2):106-109.
- [13] 张巧明,王得祥,龚明贵,等.秦岭火地塘林区不同海拔森林土壤理化性质[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(5):69-73.
- [14] 阙文杰,吴启堂.一个定量综合评价土壤肥力的方法初探[J]. *土壤通报*, 1994, 25(96):245-247.
- [15] Nielsen D R, Bouma J. *Soil Spatial Variability* [M]. Pudoc: Wageningen, 1985.
- [16] 全国土壤普查办公室. *中国土壤* [M]. 北京:中国农业出版社, 2002.
- [17] 刘振东,陈志明,于秀波.中国地貌全国研制[J]. *地图*, 1995(1):36-38.
- [18] 林克惠.土壤中磷的固定以及施用石灰和有机质对磷的有效性的影响[J]. *土壤通报*, 1963(5):22-26.
- [19] 程先富,史学正,于东升,等.丘陵山区林地土壤养分状况研究:以江西省兴国县为例[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(2):28-30.
- [20] 李海涛,于贵瑞,李家永.井冈山森林凋落物分解动态及磷、钾释放速率[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(2):233-240.