

赣南飞播马尾松林林下植被盖度对土壤质量的影响

丁松¹, 应学亮², 吕丹¹, 欧阳勋志¹

(1. 江西农业大学 林学院, 南昌 330045; 2. 江西省兴国县林业局, 江西 兴国 342400)

摘 要:为了探明林下植被盖度对赣南飞播马尾松林土壤质量的影响,选取 3 种林下植被盖度($>70\%$, $30\% \sim 70\%$, $<30\%$)的林分,对其表层(0—10 cm)土壤理化性质的 16 个指标进行比较分析,筛选出土壤容重、田间持水量、土壤有机质、速效磷、pH 值作为土壤质量评价指标,运用土壤理化综合指数评价不同林下植被盖度下土壤质量水平。结果表明:3 种林下植被盖度间,土壤容重、土壤含水量、饱和持水量、毛管持水量、田间持水量、毛管孔隙度、总孔隙度、pH 值存在显著差异($P < 0.05$);非毛管孔隙度、有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾不存在显著差异($P > 0.05$)。不同林下植被盖度的土壤理化综合指数存在极显著差异($P < 0.01$),土壤质量随着林下植被盖度的增加而得到显著提高。

关键词:飞播马尾松;林下植被;土壤理化性质;土壤质量

中图分类号:S714.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0031-06

Effects of Understory Vegetation Coverage on Soil Quality of Aerial Seeding *Pinus massoniana* Stands in South of Jiangxi Province

DING Song¹, YING Xue-liang², LÜ Dan¹, OUYANG Xun-zhi¹

(1. College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;

2. Forestry Bureau of Xingguo County, Xingguo, Jiangxi 342400, China)

Abstract: To analyze the effects of aerial seeding *Pinus massoniana* stands understory vegetation in south of Jiangxi Province on soil quality, 16 indices of topsoil (0—10 cm) physical and chemical properties of three types of understory vegetation ($>70\%$, $30\% \sim 70\%$, $<30\%$) were studied. Soil bulk density, field water holding capacity, soil organic matter, available phosphorus and pH value were selected as soil quality indicators. The soil quality levels of different understory vegetation were evaluated by the soil physical and chemical comprehensive index. The results showed that different understory vegetation displayed significant difference in the soil bulk density, soil water content, saturated moisture capacity, capillary water holding capacity, field water holding capacity, capillary porosity, total porosity and pH value ($P < 0.05$), and no significant difference was found with respect to the non-capillary porosity, soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available nitrogen and available phosphorus and available potassium ($P > 0.05$). The different understory vegetation displayed significant difference in the soil physical and chemical comprehensive indexes ($P < 0.01$). The soil quality was improved with the increase of understory vegetation.

Key words: aerial seeding *Pinus massoniana* stands; understory vegetation; soil physical and chemical properties; soil quality

植物群落的变化总是与土壤的演化相关联,土壤为植被的存在和发展提供必要的物质基础,土壤的分异导致植被的变化,反过来植被的变化也必将影响土

壤发育^[1-2]。林下植被作为森林生态系统的重要组成部分,在维持生态系统稳定性和持续的立地生产力等方面起着重要的作用^[3],在截留降雨固土保水等方面

收稿日期:2013-08-26

修回日期:2013-09-26

资助项目:国家自然科学基金项目(31160159,31360181);高等学校博士学科点专项科研基金博导类资助课题(20123603110004);江西省教育厅科技计划项目(GJJ13273)

作者简介:丁松(1988—),男,安徽安庆人,在读硕士,主要从事森林资源管理与监测研究。E-mail:ding_song123@sina.com

通信作者:欧阳勋志(1966—),男,江西赣州人,教授,博士生导师,主要从事森林资源监测管理与森林生态研究及教学工作。E-mail:oyxz_2003@hotmail.com

也起着重要的作用。关于林下植被的研究最早可追溯到 19 世纪末,20 世纪 80 年代由于人工林出现了地力衰退等各种生态问题,人们逐渐重视林下植被对森林生态系统的作用。目前林下植被的研究主要集中在林下植被的演替、与上层木的关系、在生态系统中的作用等方面^[4-8],研究较为深入的是林下植被在维持地力、改良土壤、水土保持、养分循环等方面的作用^[9-13],由于最早关注的是林下植被在杉木林中维持地力的作用,因此对其研究较为系统,随着研究的深入,涉及的对象也在丰富^[5,7,11,13],但有关飞播马尾松(*Pinus massoniana*)林的林下植被与土壤的关系研究鲜有报道,对其进行研究有利于指导其林下植被的恢复,对困难立地的水土保持和生态建设具有重要的理论和现实意义。

赣南地区曾是我国水土流失最严重的地区之一,从 1965 年开始就陆续开展了马尾松飞播造林,同时也开展了一系列的水土流失治理工程,经过 30 多年的不懈努力,水土保持工作取得了显著成效,但由于飞播区林下植被恢复较为困难,“林下流”问题仍较为突出,“远看绿油油,近看水土流”的现象较为普遍。探讨赣南飞播马尾松林不同林下植被盖度下土壤理化特性和土壤质量,旨在为合理经营管理飞播马尾松林和生态恢复提供科学参考依据。

1 研究区概况

研究区位于江西省赣南的兴国县(26°03′—26°42′N,115°01′—115°51′E),地处武夷山支脉雩山地段,东西北三面环山,中南部丘陵亘绵,地貌以低山、丘陵为主,海拔 130~1 200 m;属亚热带温暖湿润气候区,气候温和,雨量充沛,日照充足,四季分明,平均气温 18.9℃,年降水量 1 539 mm;森林资源丰富,主要林分类型有常绿阔叶林、马尾松林、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林等,森林覆盖率为

72.2%。据兴国县林业局相关统计资料,1973—2001 年,兴国县马尾松飞播造林实播面积达 77 633.3 hm²,其中保存面积 64 000 hm²,占现有全县有林地面积的 29.5%,其林下植被主要有铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)、欏木(*Loropetalum chinense*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等。

2 研究方法

2.1 样品采集及指标测定

2012 年 7 月对飞播马尾松林分布区域踏查的基础上,选择母岩、土壤类型、坡位等立地条件以及林木密度与大小、林下植被类型等相似的飞播马尾松林,分别 3 种林下植被盖度设置典型样地,样地大小均为 20 m×20 m,即 A 为林下植被盖度大于 70%,B 为林下植被盖度 30%~70%,C 为林下植被盖度小于 30%,每种类型设置 3 个重复,样地基本概况见表 1。在每个样地内设置 3 个重复样点采集 0—10 cm 土壤样品,将 3 个样点土样混合均匀用四分法取 1 kg 左右样品用于化学性质测定。土壤含水量用酒精燃烧法测定;土壤容重=环刀内干土重/环刀体积;饱和持水量=(浸润 12 h 后环刀内湿土重—环刀内干土重)/环刀内干土重;毛管持水量=(干沙上搁置 2 h 后环刀内湿土重—环刀内干土重)/环刀内干土重;田间持水量=(搁置干沙上 2 昼夜的环刀内湿土重—环刀内干土重)/环刀内干土重;非毛管孔隙度=(饱和持水量—毛管持水量)×容重;毛管孔隙度=毛管持水量×容重;总孔隙度=非毛管孔隙度+毛管孔隙度。全氮(TN)用硫酸消化—凯氏定氮法;全磷(TP)用酸溶—钼锑抗比色法;全钾(TK)用氢氧化钠熔融—火焰光度法;速效氮(AN)用碱解扩散法;速效磷(AP)用氟化铵盐酸比色法;速效钾(AK)用醋酸铵提取—火焰光度法;土壤有机质(SOM)用重铬酸钾硫酸氧化—硫酸亚铁滴定法;pH 值用电位法。

表 1 样地基本概况

类型	平均胸径/ cm	平均树高/ m	密度/ (株·hm ⁻²)	坡度	坡位	坡向	成土 母岩	土壤 类型	人为 干扰
A	7.1~9.0	8.2~9.7	1700~2850	17°~25°	中坡	半阳	花岗岩	红壤	轻度
B	5.6~8.4	5.7~10.5	1775~3075	18°~22°	中坡	半阳	花岗岩	红壤	轻度
C	6.2~8.6	5.4~8.0	2000~3350	20°~25°	中坡	半阳	花岗岩	红壤	轻度

2.2 土壤质量指标选取

任何一个土壤属性都有可能成为评价土壤质量的参数,但土壤数据获取成本高及各属性之间共线性等因素,只能从候选的土壤参数数据中选出一个能最大限度地代表所有候选参数的最小数据集(MDS)^[14]。MDS 确定的方法有主成分分析法、专家

打分法、聚类分析法等,其中应用最广泛的是主成分分析法。通常利用主成分筛选 MDS 评价指标时往往只依据某变量在一个主成分上的因子载荷大小进行选取,这可能引起变量在其他主成分上的信息丢失,本文通过计算 Norm 值来避免这种情况,Norm 值的几何意义是该变量在由主成分组成的多维空间中的

矢量常模(Norm)的长度,长度越长,则表明该变量对所有主成分的综合荷载越大,其解释综合信息的能力就越强^[15]。Norm 值计算公式:

$$N_{ik} = \sqrt{\sum_1^k (u_{ik}^2 \lambda_k)}$$
 (1)

式中: N_{ik} ——第 i 个变量在特征值 >1 的前 k 个主成分上的综合荷载; u_{ik} ——第 i 个变量在第 k 个主成分上的荷载; λ_k ——第 k 个主成分的特征值。

将每个特征值 ≥ 1 的 PC 中因子荷载 ≥ 0.5 土壤参数分为一组,若某土壤参数同时在两个 PC 中的荷载高于 0.5,则该参数应归并到与其它参数相关性较低的那一组;计算每个参数的综合得分;在每组内选出综合得分在最高分值 10% 范围内的所有参数;对每组内选出的参数进行相关分析,如果高度相关(相关系数 ≥ 0.5),则选取综合得分最高的参数进入最终的 MDS,对于不相关的参数,则全部进入 MDS^[16]。

2.3 土壤质量评价

由于土壤各指标的单位 and 数量不同,需进行标准化处理,且各指标的变化具有连续性,因而采用隶属度函数进行标准数量化,并根据主成分因子负荷量的正负性确定隶属度函数分布的升降性,这与各指标对植被的效应相符合^[17]。

升型分布函数:

$$F(x_i) = (x_i - x_{imin}) / (x_{imax} - x_{imin})$$
 (2)

降型分布函数:

$$F(x_i) = (x_{imax} - x_i) / (x_{imax} - x_{imin})$$
 (3)

式中: $F(x_i)$ ——各土壤指标的隶属度值; x_i ——各土壤指标值; x_{imax} , x_{imin} ——第 i 项土壤指标中的最大值和最小值。

由于土壤质量的各个指标的重要性不同,一般用权重系数表示各指标的重要性程度,利用主成分分析法(principal component analysis PCA)计算各土壤指标的权重系数^[18]。本文考虑研究区的土壤特点,仅从对植被生长影响较大也是最基本的土壤理化性质方面对土壤质量进行评价,采用加权求和模型^[17-18]计算土壤理化综合指数(comprehensive index, CI)。

表 2 不同林下植被盖度土壤物理性质

类型	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	土壤 含水量/%	饱和 持水量/%	毛管 持水量/%	田间 持水量/%	非毛管 孔隙度/%	毛管 孔隙度/%	总孔 隙度/%
A	1.20(0.13)b	13.36(3.58)a	38.97(7.38)a	30.30(3.46)a	12.43(2.21)a	10.13(3.46)a	36.07(0.61)a	46.20(3.91)a
B	1.47(0.17)a	8.80(0.56)ab	23.60(4.85)b	17.17(3.69)b	4.13(2.40)b	9.30(2.78)a	24.80(3.14)b	34.10(2.78)b
C	1.52(0.03)a	6.10(2.64)b	21.53(0.75)b	14.70(2.40)b	2.90(1.08)b	10.37(3.16)a	22.46(3.52)b	32.83(0.68)b

注:不同字母表示显著差异($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

不同类型之间土壤物理性质经方差分析表明,只有非毛管孔隙度没有显著差异,其他物理性质均达到

$$CI = \sum_{i=1}^n N_i W_i$$
 (4)

式中: N_i , W_i ——第 i 项土壤指标所对应的的隶属度值和权重系数; n ——参评的土壤指标数。

2.4 数据处理

数据的分析、统计处理采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0。

3 结果与分析

3.1 土壤物理性质

表 2 表明,土壤中各种类型的水分含量变化规律比较明显,均表现为 $A>B>C$,田间持水量变化最大,A 类型比 B、C 类型分别提高了 201.0%, 328.6%,饱和持水量变化最小,A 类型比 B、C 类型分别提高了 65.1%, 81.0%,随着林下植被盖度的增加,尤其在林下植被盖度达到 70% 以后土壤的供水能力有了显著的提高,Pearson 相关分析表明,饱和持水量、毛管持水量、田间持水量与土壤容重存在极显著负相关,相关系数分别为 0.970, 0.942, 0.826。A 类型土壤容重分别比 B、C 类型的土壤容重下降了 18.4%, 21.1%,变化较明显,一方面可能由于林下植被根系与土壤相互作用增加了土壤的孔隙引起的,另一方面可能由于盖度的增加减少了砂砾和黏粒的流失。土壤容重值在 1.1~1.4 g/cm³ 表示土壤松紧程度比较适宜,小于 1.1 g/cm³ 则较松,大于 1.4 g/cm³ 则较紧^[19],只有 A 类型土壤容重的松紧处在适宜的范围内。相关研究表明^[20],土壤中总孔隙度在 50% 左右,其中非毛管孔隙占 1/5~2/5 时,土壤的通气性、透水性和持水能力比较协调。A 类型中土壤孔隙属于比较理想的水平,B、C 类型中孔隙均未达到理想状态。总孔隙度和毛管孔隙度均表现为在 A 类型中达到最大,在 C 类型中为最小,A 类型分别比 C 类型提高了 40.7%, 60.6%,而非毛管孔隙度比较接近。Pearson 相关分析表明,总孔隙度、毛管孔隙度均与土壤容重存在极显著负相关,相关系数分别为 0.944, 0.845。

显著差异,用 LSD 法进一步分析(见表 2)。土壤含水量表现为 A 类型与 C 类型间差异显著,其他类型间

差异不显著,其他性质表现为 A 类型分别与 B、C 类型之间差异达到显著水平,B 与 C 类型之间差异不显著。随着林下植被盖度的提高土壤结构和水分性状都得到了改善和提高,尤其是当林下植被盖度达到 70% 以上时效果更加明显,物理性状的改善对林下植被的生长及土壤的生物活性均有积极的促进作用。

3.2 土壤化学性质

从表 3 可知,随林下植被盖度的增加土壤有机质含量有所提高,A 类型分别比 B、C 类型提高了 56.0%, 98.2%,有机质与土壤容重呈负相关,与其他物理指标呈正相关。全氮、全磷含量表现为随着盖度的增加而增加,A 类型分别比 C 类型高 57.4%,171.4%,全钾含量变化不明显。土壤中的氮 95% 以上以有机态形式存在^[21],因此土壤氮含量与有机质的相关性很高

表 3 不同林下植被盖度土壤化学性质

类型	TN/(g·kg ⁻¹)	AN/(mg·kg ⁻¹)	TP/(g·kg ⁻¹)	AP/(mg·kg ⁻¹)	TK/(g·kg ⁻¹)	AK/(mg·kg ⁻¹)	SOM/(g·kg ⁻¹)	pH
A	0.096(0.021)a	34.6838(7.8203)a	0.057(0.028)a	7.8927(3.9585)a	15.674(5.344)a	57.2390(5.1578)a	25.900(14.454)a	3.5(0.2)b
B	0.091(0.049)a	24.3040(8.3975)a	0.032(0.024)a	2.0206(0.4840)a	15.499(4.626)a	49.4605(11.7399)a	16.600(11.048)a	3.8(0.1)a
C	0.061(0.017)a	31.7302(5.2289)a	0.021(0.011)a	2.6983(1.7465)a	16.703(5.682)a	55.0683(5.4897)a	13.066(8.100)a	3.7(0.2)a

参照第二次全国土壤普查中所采用的土壤等级分为 6 级的划分依据^[21],对各类型土壤中的养分含量进行评价,3 种类型土壤有机质含量属于 3,4 级,为中等偏低的水平;全氮、全磷含量均为第 6 级,属于极低的水平;全钾含量为第 3 级,属于中等水平;速效氮含量处在 5,6 级,属于很低到极低的水平;速效磷含量处在 4,6 级,属于中等偏极低水平;速效钾含量处在 4,5 级,属于低到很低的水平。总体来看,土壤中的养分含量处在 3—6 级之间,属于中等到极低的水平,虽然化学性质在各类型之间差异不显著,但部分性质得到明显的改善。

3.3 土壤质量评价

3.3.1 土壤质量指标选取 土壤质量指标因子载荷、分组及 Norm 值计算结果见表 4。pH 值在两个主成分上的载荷均高于 0.5,但其与第 2 组中指标的相关性小于与第 1 组中的各指标相关性,因此将其归为第 2 组,同理将非毛管孔隙度和速效磷归到第 3 组。选取指标时以 Norm 值为依据,同时考虑土壤指标选取的主导性和适用性原则,组 1 中土壤含水量的 Norm 值在范围之外,其他指标 Norm 值均在范围之内且比较接近,考虑到组 1 中指标反映的是土壤水分和孔隙特征,而土壤水分和容重等土壤物理因子,是重要的土壤结构和土壤质量指标,影响着土壤的持水和植物根系的生长,是立地质量的重要指标^[24]。从表 4 可知,田间持水量比其它持水量 Norm 小,但它是植物所能利用的最高水分含量,考虑到飞播马尾松目前

($r=0.697^*$),且二者的变化趋势一致;森林土壤中有有机磷占全磷的 50%~80%^[21],可见全磷与土壤有机质的相关性($r=0.632$)明显小于全氮与土壤有机质的相关性;矿物钾占土壤全钾的 90%~95%,其释放缓慢,很难与其他形态的钾形成平衡关系,难以被植物吸收利用^[22],其与有机质的相关性($r=0.076$)非常低。速效氮、速效磷、速效钾呈现相同的变化规律,表现为 A>C>B,速效氮与全氮的相关性($r=0.327$)、速效磷与全磷的相关性($r=0.214$)、速效钾与全钾的相关性($r=0.198$)都很低,未达显著水平。pH 变化不大,根据我国土壤酸碱度分级标准^[23],3 种类型土壤均呈强酸性($pH<4.5$),方差分析表明,pH 值 A 类型显著低于 B、C 类型($P<0.05$),其他的化学性质不存在显著差异($P>0.05$)。

水土流失还比较普遍,土壤有效水可能对植被生长影响较大,所以选取田间持水量和土壤容重;组 2 中全氮、速效氮的 Norm 值在范围之外,pH 的 Norm 值最大进入 MDS,在 Norm 值范围内的指标与 pH 值都高度相关,考虑到 SOM 对土壤物理、化学及生物学性质影响大,所以也选取其作为土壤质量评价指标;组 3 中只有速效磷符合 Norm 值要求,因此将其选入。综上所述,最终进行土壤质量评价的指标为田间持水量、土壤容重、SOM、AP、pH。

表 4 土壤质量指标主成分因子载荷矩阵及 Norm 值

土壤质量指标	分组	主成分 1	主成分 2	主成分 3	Norm 值
毛管持水量	1	0.988	0.121	-0.007	2.618
容重	1	-0.963	-0.039	-0.219	2.563
总孔隙度	1	0.955	0.278	0.067	2.586
毛管孔隙度	1	0.953	0.064	-0.232	2.542
饱和持水量	1	0.951	0.226	0.203	2.570
田间持水量	1	0.898	0.152	-0.279	2.427
土壤含水量	1	0.614	0.406	-0.443	2.330
pH	2	0.718	0.636	0.205	1.947
AK	2	-0.063	0.927	-0.020	1.932
SOM	2	0.230	0.908	-0.051	1.982
AN	2	0.168	0.735	0.337	1.670
TN	2	0.168	0.698	-0.050	1.518
TP	2	0.465	0.632	0.289	1.850
TK	3	0.109	0.101	0.816	1.297
非毛管孔隙度	3	0.035	0.533	0.740	1.585
AP	3	0.534	0.404	-0.675	1.937

3.3.2 土壤理化综合指数计算 根据主成分因子负荷量值的正负性确定隶属度函数分布的升降型,田间

持水量、SOM、AP、pH 采用式(2)计算,土壤容重采用式(3)计算,根据式(4)计算了不同林下植被盖度下每个样地的土壤理化综合指数,各样地中土壤质量指标权重、隶属度值和土壤理化综合指数见表 5。3 种类型土壤理化综合指数表现为 $A(0.620)>B(0.354)>C(0.295)$,方差分析表明不同类型间的土壤理化综合指数间差异达到极显著水平($P<0.01$),LSD 分析表明,A 类型与 B、C 类型之间均达到极显著差异($P<0.01$),B 与 C 类型之间差异不显著($P>0.05$)。

表 5 各土壤质量指标权重、隶属度值和土壤理化综合指数

类型	土壤容重	田间持水量	SOM	AP	pH	CI
A	0.545	0.789	1.000	1.000	0.333	0.690
	1.000	0.656	0.902	0.274	0.000	0.522
	0.727	1.000	0.140	0.637	0.500	0.647
B	0.000	0.047	0.782	0.141	0.667	0.301
	0.600	0.383	0.261	0.101	0.667	0.430
	0.218	0.070	0.091	0.052	1.000	0.332
C	0.127	0.164	0.261	0.320	0.667	0.324
	0.218	0.047	0.000	0.000	0.833	0.263
	0.182	0.000	0.528	0.160	0.667	0.298
权重	0.202	0.241	0.124	0.183	0.250	

4 结论与讨论

土壤的形成是一个漫长的过程,在目前的酸沉降和亚热带气候条件下,在花岗岩母质上如果没有地表物理侵蚀,经过 2.0 万~2.1 万年才能形成 1 m 厚的土壤^[25],袁正科等^[26]指出当林下植被盖度在 24.2%~58.4%时,径流系数平均减少 9.04%,输沙量平均减少 40.02%,且盖度每增加 10%,输沙率减少 0.19%~0.27%,可见由于林下植被盖度小引起的水土流失是导致土壤结构恶化和养分流失的重要原因。Hassan 等^[27]研究表明地表径流带走土壤中大量的黏粒和粉粒,这必然导致土壤组成土粒含量发生变化,引起土壤粗粒化,土壤容重增加,孔隙度减小。A 类型的土壤容重和孔隙特性均得到了改善,土壤容重、毛管孔隙度、总孔隙度均处在理想的水平,且分别与 B、C 类型存在显著差异,表明当林下植被盖度达到 70%以上时几乎不会产生水土流失或轻度水土流失,相关研究表明当盖度达到 60%以上时,土壤侵蚀量减少效果显著且趋于稳定,50%~60%的盖度称为“水土保持有效盖度”^[28],这与本文研究结果类似;而非毛管孔隙度在 3 种类型间差异不显著,可能是由于林下植被以铁芒萁为主,其根系较细,对土壤非毛管孔隙的作用不是很明显。土壤含水量、土壤饱和持水量和土壤毛管持水量作为森林土壤水分物理性指标,能较

好地反映林地土壤的保水、供水能力^[29],而本研究中的土壤含水量及各种持水量在林下植被盖度达到 70%以上时,均分别与 B、C 类型存在显著差异,说明土壤的保水、供水能力得到显著的提高。土壤的化学性质变化规律虽没有物理性质明显,但也呈现一定的规律性,全氮、全磷、有机质均随盖度的增加而增加,速效氮、速效磷、速效钾均表现为 $A>C>B$,而全钾则表现为 $C>A>B$,各指标均不存在显著差异。化学性质变化规律不明显的原因可能有以下两个方面:一是林分都是马尾松纯林,从而导致凋落物少;二是自然土壤的形成及其养分的提高需要一个时间过程^[30],因此对于磷素、钾素这类主要来源于矿物的元素来说就不会呈现明显的与植被盖度之间的关系。林开敏等^[31]对杉木林下植被的研究指出杉木凋落物与芒萁等凋落物混合在一起不易分解,铁芒萁与芒萁同为芒萁属,生物学特性相似,其可能会影响凋落物分解,从而导致养分归还量少,另有研究表明林下植被对地力的影响不仅与其类型有关,与其生物量也联系紧密,当生物量达到 5 t/hm² 时,对地力的作用才明显^[9],研究区的林下植被以草本为主,生物量基本达不到这个标准,这可能是化学性质变化规律不明显的原因。综合结果表明,土壤质量随着林下植被盖度的增加有了显著的提高。

土壤质量评价方法很多,不同的学者选择用于评价土壤的指标也不尽相同,本研究基于主成分分析法和 Pearson 相关系数确定了进行土壤质量评价的 MDS,选取指标有土壤容重、田间持水量、SOM、AP、pH,运用土壤理化综合指数对土壤质量进行定量的分析。目前针对不同的土地利用方式和森林类型对土壤质量的影响研究比较多,而且很少对测定的指标进行筛选,因此在评价不同林下植被盖度下土壤质量时对 16 个指标进行了筛选,对今后类似的研究具有指导意义。本文仅就土壤理化性质方面对土壤质量进行评价,然而对土壤质量产生影响的因素还有很多,如土壤团聚体、电导率、酶活性、CEC、MBC、MBN 等,陶宝先等^[32]对 3 种酶活性的研究表明其均与土壤理化性质存在显著、极显著相关性,尤其是有机质,郭培俊等^[33]指出大多数微生物的生长繁殖依赖土壤中的有机营养,土壤水分和土壤气体等形成的土壤溶液是微生物各种活动的载体,也是酶促反应的场所,因此有机质含量、含水量与三大微生物数量之间存在极显著相关性,容重也与细菌和真菌存在极显著相关性。因此文中虽没有涉及到生物学指标,然而由于其与土壤理化性质之间存在相关性,MDS 方法能最大限度覆盖所有候选土壤参数所表达的土壤质量信息,

同时又尽可能降低数据冗余度,所以在一定程度上也能体现生物学性质的影响。为了对植被恢复和生态重建措施的选择更具有针对性,在今后的研究中需要对这些方面进行深入的探讨。

参考文献:

- [1] 曲国辉,郭继勋. 松嫩平原不同演替阶段植物群落和土壤特性的关系[J]. 草业学报,2003,12(1):18-22.
- [2] 欧阳学军,黄忠良,周国逸,等. 鼎湖山亚热带森林群落演替对土壤化学性质影响的累积效应研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):51-54.
- [3] 林贵刚,赵琼,赵蕾,等. 林下植被去除与氮添加对樟子松人工林土壤化学和生物学性质的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1188-1194.
- [4] 盛炜彤. 不同密度杉木人工林林下植被发育与演替的定位研究[J]. 林业科学研究,2001,14(5):463-471.
- [5] 王露露,朱清科,赵彦敏,等. 陕北黄土区山杏林下草本层植物群落特征研究[J]. 水土保持通报,2013,33(1):225-231.
- [6] 王辉,贺康宁,胡兴波,等. 高寒区不同树种配置对林下植被物种多样性的影响[J]. 水土保持研究,2012,19(3):147-150.
- [7] 安云,丁国栋,梁文俊,等. 间伐对华北土石山区油松林生长及其林下植被发育的影响[J]. 水土保持研究,2012,19(4):86-90.
- [8] 彭绍云,顾祝军,修平. 南方红壤试验小区乔灌草多年水土保持效应比较[J]. 水土保持研究,2013,20(1):25-29.
- [9] 姚茂和,盛炜彤,熊有强. 林下植被对杉木林地力影响的研究[J]. 林业科学研究,1991,4(3):246-252.
- [10] 刘立武,余济云,伍倩,等. 海南通什低质低效次生林林下植被多样性与土壤养分特征:以加勒比松林为例[J]. 中国农学通报,2012,28(7):74-79.
- [11] 闫法领,刘君昂,谭益民,等. 马尾松人工林林下植被恢复模式对土壤微生态的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(7):50-55.
- [12] 何圣嘉,谢锦升,杨智杰,等. 南方红壤丘陵区马尾松林下水土流失现状、成因及防治[J]. 中国水土保持科学,2011,9(6):65-70.
- [13] 杨丽丽,文仕知,何功秀. 长沙市郊枫香人工林营养元素生物循环特征[J]. 福建林学院学报,2012,32(1):48-53.
- [14] Doran J W, Parkin T B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set[C]//Doran J W, Jones A J. Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of American,1996:25-37.
- [15] Yemefack M, Jetten V G, Rossiter D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems [J]. Soil and Tillage Research,2006,86(1):84-98.
- [16] 李桂林,陈杰,孙志英,等. 基于土壤特征和土地利用变化的土壤质量评价最小数据集确定[J]. 生态学报,2007,27(7):2715-2724.
- [17] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2292-2296.
- [18] 谢瑾,李朝丽,李永梅,等. 纳板河流域不同土地利用类型土壤质量评价[J]. 应用生态学报,2011,22(12):3169-3176.
- [19] 赵筱青,和春兰,许新惠. 云南山地尾叶桉类林引种对土壤物理性质的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(11):1810-1816.
- [20] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [21] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [22] 黄绍文,金继运. 土壤钾形态及其植物有效性研究进展[J]. 土壤肥料,1995(5):23-29.
- [23] 卢瑛,冯宏,甘海华. 广州城市公园绿地土壤肥力及酶活性特征[J]. 水土保持学报,2007,21(1):160-163.
- [24] 丁国昌,何宗明,林宇,等. 木麻黄迹地不同更新树种土壤剖面的变化特征及表聚性特征[J]. 江西农业大学学报,2012,34(1):66-71.
- [25] 杨金玲,张甘霖,黄来明. 典型亚热带花岗岩地区森林流域岩石风化和土壤形成速率研究[J]. 土壤学报,2013,50(2):253-259.
- [26] 袁正科,田育新,李锡泉,等. 缓坡梯土幼林林下植被覆盖与水土流失[J]. 中南林学院学报,2002,22(2):21-24.
- [27] Hassan M M, Mazumder A H. Distribution of organic matter in some representative forest soils of Bangladesh [J]. Indian Journal of Forestry,1990,13(4):281-287.
- [28] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东. 持续提高黄土高原植被水土保持功能的配套技术:(I)森林保持水土的条件[J]. 农村生态环境,2002,18(2):50-52.
- [29] 史东梅,吕刚,蒋光毅,等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6):35-39.
- [30] 杨平,王海燕,张洪江. 水土保持林及其配置模式对土壤养分的影响[J]. 水土保持研究,2009,16(3):196-201.
- [31] 林开敏,马祥庆,范少辉,等. 杉木人工林林下植被的消长规律[J]. 福建林学院学报,2000,20(3):231-234.
- [32] 陶宝先,张金池,崔志华,等. 苏南丘陵区林地土壤酶活性及其与土壤理化性质的相关性[J]. 生态与农村环境学报,2009,25(2):44-48.
- [33] 郭培俊,艾应伟,陈朝琼,等. 植生土类型对岩石边坡人工林土壤理化性质和微生物活性的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(1):203-208.