

不同林龄华北落叶松林下土壤理化性质及微生物学指标评价

刘杰, 马履一, 贾忠奎, 王西洋, 汪加魏, 宋春华

(北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 通过对河北省承德市塞罕坝机械林场种植年限分别为 18, 22 和 38 a 的华北落叶松人工林下土壤理化性质、酶活性和微生物数量等土壤质量指标的综合研究, 对土壤质量的变化规律和关键指标进行了分析比较。结果表明: (1) 同龄林分下各指标变化差异显著, 随着土壤深度的增加, 土壤容重、pH 值逐渐增大, 而土壤含水量、毛管持水量、毛管孔隙度等 12 个指标则逐渐降低; 非同龄林分之间同一指标差异显著。18 a 林分土壤质量最优指标为过氧化氢酶和细菌数量。22 a 林分土壤质量最优指标为土壤含水量、毛管持水量、毛管孔隙度、有机质、脲酶活性、真菌数量。38 a 林分土壤质量最优指标为容重、全钾、速效磷、全氮、放线菌数量。各林分土层之间差异显著 ($p < 0.05$)。 (2) 主成分分析结果表明, 土壤容重、毛管持水量、毛管孔隙度、有机质、放线菌和真菌数量可以作为土壤质量评价的主要指标。 (3) 18, 22 和 38 a 林下土壤质量综合评分依次为 0.122, 0.253 和 -0.375。其中, 22 a 林分下土壤质量的综合评分最高, 说明 22 a 华北落叶松人工林林下土壤质量相对较好。

关键词: 华北落叶松; 人工林; 土壤质量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0088-06

中图分类号: S714

Assesses of Soil Physicochemical Properties and Microbiology Indicators in *Larix Principis-rupprechtii* Plantations

LIU Jie, MA Lü-yi, JIA Zhong-kui, WANG Xi-yang, WANG Jia-wei, SONG Chun-hua

(Province and Ministries Co-construction Key Lab. for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In 18 years old, 22 years old and 38 years old *Larix principis-rupprechtii* plantations in Saihanba Forestry Station of Hebei Province, soil quality indicators such as physicochemical properties, enzymatic activities and microbe quantity were researched comprehensively. The key indexes and varying patterns of soil quality were understood by data analyzing. Soil indicators have significant differences in even-aged stands. With the increasing of soil depth, the soil bulk density and pH values magnify correspondingly, while the values of the other 12 indicators (including soil water content, capillary water holding capacity, capillary porosity and so on) have an adverse trend. The same indicator among uneven aged stands also has significant difference. The optimal indicators in 18 years old stands are the catalase activity and bacteria quantity, while SWC, capillary water holding capacity, capillary porosity, organic matter(OM), urease activity and fungi in 22 years old stands, and soil bulk density, total K, rapidly-available phosphorus, total nitrogen and actinomycetes in 38 years old. The results of principal components analysis(PCA) showed that the soil bulk density, capillary water holding capacity, capillary porosity, quantities of OM, actinomycetes and fungi are optimal indicators of soil quality. The comprehensive score of *Larix principis-rupprechtii* soils in 18, 22 and 38 years old plantations are 0.122, 0.253 and -0.375, respectively. The highest score of soil quality in 22 years old stands suggests that the soil is the best.

Keywords: *Larix principis-rupprechtii*; plantation; soil quality

收稿日期: 2012-11-27

修回日期: 2013-03-26

资助项目: 林业公益性行业科研专项“油松、华北落叶松高效培育与经营关键技术研究”(201004021); 中央高校基本科研业务费专项资金暨北京林业大学科技创新计划项目(TD2011-08); 林业科技成果推广项目(2011-44)

作者简介: 刘杰(1987—), 女(汉族), 河南省兰考县人, 硕士研究生, 主要研究方向为森林培育理论与技术。E-mail: liujie3687@163.com。

通信作者: 马履一(1957—), 男(回族), 云南省大理白族自治州人, 博士, 教授, 主要研究方向为森林培育。E-mail: maluyi@bjfu.edu.cn。

森林土壤是森林生态系统的物质基础,更是林木生长的物质基础,为林木生长提供了所需的水分、养分以及其它生长必需的物质。作为林木生长的大本营,土壤质量的高低直接影响着林木的生长状况以及森林质量的优劣。华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)是我国华北地区主要造林树种之一,更是塞罕坝地区主要栽培树种,在林木生产、水土保持、水分涵养等方面起着重要的作用,其林下土壤质量的高低直接影响着林分的质量。为研究土壤质量与林龄之间的关系,选择初植密度和立地条件相同的18,22和38 a这3种林龄华北落叶松作为研究对象,通过对林下土壤理化性质、酶活性和微生物数量等指标的综合研究,分析比较不同林龄华北落叶松人工林土壤质量的变化规律,得出影响其土壤质量的关键指标,旨在为森林可持续经营管理提供理论依据。

1 试验区概况

试验设置在河北省承德市塞罕坝机械林场总场阴河林场前曼甸营林区,主要树种有华北落叶松、樟子松、白桦、云杉等,其中以华北落叶松用材林为主要造林树种。地理坐标为北纬 $42^{\circ}02'$ — $42^{\circ}36'$,东经 $116^{\circ}51'$ — $117^{\circ}39'$,海拔1 650~1 830 m,年均气温 -1.5°C ,年均降水量433 mm。昼夜温差大,降水少,蒸发量大,无霜期60 d,土壤为暗灰色森林土。所研究林分全为人工落叶松纯林,在地理上具有显著的塞罕坝地形特点和人工林分布特点,林相整齐,易于作业,便于管理。根据试验设计要求,选择初植密度、立地条件、样地面积均相同的、具有代表性、生长正常的18,22和38 a这3个林龄的华北落叶松人工林作为研究对象(表1),每个林龄设置45块 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的固定样地,共计135块样地。

表1 调查林分基本情况

林龄/ a	龄级	平均胸 径/cm	平均树 高/m	郁闭度	海拔/ m
18	幼龄林	8.96	9.06	0.83	1 659
22	中龄林	11.08	9.59	0.76	1 669
38	近熟林	22.79	18.32	0.77	1 716

2 研究方法

2.1 土样采集

2011年6月底,林下土壤刚解冻,此时水分比较稳定、具有代表性。分别在3个林龄共135块样地中各设置1个土壤剖面共135个剖面,按0—10 cm,

10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm分4层采用“环刀法”分别采取原状土样,测定土壤含水量、容重、毛管持水量和毛管孔隙度,以评价土壤贮水能力、通气性与透水性。按照土壤剖面自然发生层每层中取约1 kg土样放入无菌采样袋、封口、带回实验室。另外取0—20 cm土层中新鲜土样用冰箱带回实验室进行土壤微生物数量的测定,自然风干土样测定土壤化学性质和酶活性。

2.2 土样分析

土壤容重、含水量、毛管持水量和毛管孔隙度等水分物理性质采用环刀一次取样连续测定^[1],土壤pH值采用电位法,全氮采用凯氏定氮法,有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法,全钾采用火焰原子吸收分光光度法,速效磷采用盐酸氟化铵法—钼锑抗比色法^[2]。土壤微生物采用稀释平板法^[3],细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、放线菌采用改良高氏一号培养基、真菌采用马丁氏琼脂培养基,培养温度均为 28°C ,细菌与放线菌培养3~5 d,真菌5~7 d。过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法^[4-5];脲酶采用苯酚钠比色法测定^[6]。对所有数据采用Excel进行统计整理,再运用统计分析软件SPSS 18.0进行综合分析。

3 结果与分析

3.1 华北落叶松人工林土壤物理性质比较

土壤水分状况直接影响到土壤的理化性质以及土壤中的生物过程,对林木生长起着重要的作用,土壤含水量、容重、毛管持水量和毛管孔隙度等物理指标可以用来评价土壤贮水能力的大小^[7]。特别是土壤容重和孔隙状况直接影响到土壤的通气性和透水性,是决定森林土壤涵养水源功能的重要指标。

采用标准地法对不同林龄华北落叶松人工林土壤物理指标进行分析(表2)。由表2可以看出,土壤各层平均容重大小依次是:38 a林(1.27 g/cm^3)>18 a林(1.23 g/cm^3)>22 a林(1.18 g/cm^3),各层土壤容重均以22 a最小,在0—10 cm和10—20 cm土壤容重3个林龄之间差异显著,土壤容重随着土壤深度增加而逐渐增大,其中以18 a生增加率最大,从 1.07 g/cm^3 增加到 1.38 g/cm^3 ,增加率为22.46%。土壤含水量、毛管持水量和毛管孔隙度均随着土壤深度的增加而递减,最大递减率依次为36.63%,41.07%和24.60%,各土层中22 a林最大,18 a林次之,38 a林最小。其中3种不同年限林地土壤含水量在0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm土层中存在显著差异,22 a林地土壤含水量分别高出38和18 a林约11.80%~15.86%;土壤

毛管持水量和毛管孔隙度 3 个林龄在 0—10 cm 和 60 cm 的土层中差异性不明显,其中 22 a 要高出其它 10—20 cm 土层中差异显著,而在 20—40 cm 和 40—两个林龄(38 和 18 a)约 0.59%~12.43%。

表 2 华北落叶松土壤理化性质及酶活性显著性分析

测定指标	林龄/a	土层深度/cm			
		0—10	10—20	20—40	40—60
土壤容重/(g·cm ⁻³)	38	1.17±0.05 Da	1.23±0.03 Ca	1.29±0.03 Ba	1.38±0.04 Aa
	22	1.06±0.04 Cb	1.12±0.06 Cb	1.23±0.05 Ba	1.32±0.05 Aa
	18	1.07±0.02 Cb	1.19±0.06 Ba	1.27±0.06 Ba	1.38±0.04 Aa
土壤含水量/%	38	28.12±0.93 Ab	27.24±1.59 Ab	23.42±1.59 Bb	20.10±1.88 Ca
	22	32.92±4.49 Aa	32.28±2.20 Aa	27.45±1.40 aB	20.86±2.25 Ca
	18	29.00±1.46 Ab	27.16±2.13 Ab	24.21±2.27 Bb	20.79±1.23 Ca
毛管持水量/%	38	46.62±3.04 Ab	41.73±1.36 Bb	37.59±2.01 Ca	32.62±1.88 Da
	22	53.24±3.89 Aa	47.25±3.56 Ba	39.48±2.55 Ca	34.13±2.89 Da
	18	51.81±2.24 Aa	41.87±3.47 Bb	36.25±2.79 Ca	30.53±1.84 Da
毛管孔隙度/%	38	54.12±1.37 Aa	51.01±1.09 Bb	47.75±1.76 Ca	44.67±1.44 Da
	22	55.50±1.87 Aa	52.06±2.00 Ba	47.72±0.83 Ca	44.19±2.29 Da
	18	55.17±1.68 Aa	49.45±1.98 Bb	45.52±1.63 Ca	41.60±1.25 Da
pH 值	38	6.08±0.34 Aa	6.28±0.13 Aa	6.39±0.05 Aa	6.40±0.11 Aa
	22	6.16±0.07 Da	6.31±0.02 Ca	6.44±0.03 Ba	6.51±0.03 Aa
	18	6.24±0.06 Ca	6.31±0.05 BCa	6.38±0.06 ABa	6.42±0.06 Aa
有机质/(g·kg ⁻¹)	38	50.21±6.61 Ab	46.35±5.19 Ab	35.55±4.71 Bb	25.03±3.64 Ca
	22	59.76±1.85 Aa	54.51±3.43 Ba	43.65±4.20 Ca	30.87±2.25 Da
	18	59.25±5.05 Aa	49.48±5.58 Bab	39.17±4.38 Cab	30.98±8.86 Ca
全钾/(g·kg ⁻¹)	38	8.88±0.60 Aa	8.61±0.73 Aa	8.79±0.93 Aa	7.89±0.68 Aa
	22	7.65±0.60 Ab	7.49±0.67 Ab	7.12±0.66 Ab	7.09±0.27 Ab
	18	7.36±0.11 Ab	7.14±0.21 Ab	6.72±0.19 Bb	6.15±0.31 Cc
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	38	10.13±3.32 Aa	7.01±1.24 Aab	10.58±11.34 Aa	5.15±2.00 Aa
	22	9.12±0.80 Aa	8.20±0.93 Aa	6.94±0.83 Ba	5.62±0.84 Ca
	18	9.36±2.11 Aa	6.29±0.41 Bb	5.00±1.06 Ba	5.14±2.60 Ba
全氮/(g·kg ⁻¹)	38	1.87±0.34 Aa	1.90±0.08 Aa	1.41±0.22 Ba	0.99±0.12 Ca
	22	1.91±0.07 Aa	1.77±0.10 Ba	1.42±0.09 Ca	0.89±0.07 Da
	18	1.82±0.13 Aa	1.50±0.14 Bb	1.00±0.15 Cb	0.59±0.12 Db
过氧化氢酶/(ml·g ⁻¹)	38	1.1575±0.31 Ab	0.8654±0.35 Ab	0.4720±0.31 Ba	0.2810±0.14 Ba
	22	1.4310±0.06 Aa	1.1088±0.04 Bab	0.6893±0.12 Ca	0.2622±0.08 Da
	18	1.6146±0.09 Aa	1.2137±0.07 Ba	0.7118±0.06 Ca	0.3671±0.06 Da
脲酶/(mg·g ⁻¹)	38	0.2057±0.06 Ab	0.1693±0.07 ABc	0.0676±0.04 Bb	0.0853±0.10 Ba
	22	0.6327±0.14 Aa	0.5127±0.09 Aa	0.3021±0.06 Ba	0.1479±0.05 Ca
	18	0.5771±0.05 Aa	0.3917±0.04 Bb	0.2433±0.02 Ca	0.1849±0.04 Da

注:表中不同指标同行中不同大写字母者为差异显著,同列中不同小写字母者为差异显著($p < 0.05$)。下同。

3.2 华北落叶松人工林土壤化学性质比较

土壤养分是森林生态系统的重要组成部分,直接影响林木的生长。pH 值对土壤肥力,微生物活动、有机质分解以及其它营养元素的释放起着重要的作用;土壤有机质作为林木营养的主要来源,是评价土壤质量的主要指标,对提高土壤肥力有着重要的作用;土壤全氮是衡量土壤氮素供应状况的主要指标,其变化

与有机质紧密相关;磷是植物生理代谢活动必不可少的元素,土壤速效磷含量是衡量土壤磷素供应状况较好的指标;土壤全钾是林木生长发育所必需的大量元素之一,它在维持细胞内物质正常代谢调节,促进光合作用,光合产物的运输,蛋白质合成及增强植物的抗逆性等方面发挥着重要作用。

由表 2 可以得出,3 个林龄土壤 pH 值随着土壤

深度的增加而递增,方差分析($p < 0.05$)结果表明,土层之间以及林龄之间差异性不明显。但是对3个林龄土壤营养元素的研究结果表明,同一林龄,土壤有机质、全钾、速效磷和全氮含量随着土壤深度的增加而呈现减少趋势,其中最下层与最上层相比,递减率依次为48.74%,11.64%,44.21%和56.01%,各层之间存在差异,其中以全氮含量变化最为明显,40—60 cm较0—10 cm降低了67.58%。在0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm土壤有机质含量以22 a林最高,高出其它两个林龄0.85%~18.56%,林龄之间差异显著;全钾、全氮含量以38 a林最高,高出其它两个林龄10.14%~23.55%,林龄之间差异显著;速效磷含量除10—20 cm土层3个林龄之间有差异外,其它土层差异不显著。

3.3 华北落叶松人工林土壤酶活性研究

土壤酶是土壤生化过程的积极参与者,包括枯落物的分解,腐殖质及各种有机化合物的分解与合成过程,其活性的高低直接影响着土壤熟化程度和有效肥力^[8-9]。过氧化氢酶是土壤中一种很重要的氧化还原酶,参与土壤中某些有毒物质转化和腐殖质的形成;脲酶是一种水解性酶,直接参与有机物中肽键的水解,其活性强弱直接影响着土壤氮素的供应。

从表2可以看出,3个林龄土壤酶活性垂直分布特征随着土壤深度增加呈现递减趋势,不同土层之间显著差异($p < 0.05$),其中过氧化氢酶活性0—10 cm土层较40—60 cm土层分别增加了75.72%,81.68%和77.26%,脲酶活性增加率分别为58.53%,76.62%和67.96%;不同林龄之间方差分析与多重比较结果表明,0—10 cm和10—20 cm土层在0.05水平达到显著差异。土壤过氧化氢酶活性随着林龄的增大而减少趋势,平均酶活性分别为0.98,0.87和0.69,林龄之间差异显著;土壤脲酶活性在林龄之间有明显差异,分别为0.35,0.40和0.13,表现为先升高再降低的趋势。特别是在0—10 cm和10—20 cm土层中这种差异性更为明显。

3.4 华北落叶松人工林土壤微生物数量研究

土壤微生物主要包括土壤细菌、放线菌和真菌3大类群,在土壤有机质和无机质转化中起着重要的作用,其数量分布可以反映土壤的生物活性以及土壤环境质量的变化。

由表3可以看出,对0—20 cm土层中不同林分类型土壤微生物种群数量各不相同,总体上3类微生物数量在38 a土壤中的顺序从大到小依次为:细菌>放线菌>真菌,而在22和18 a林龄从大到小依次为:细菌>真菌>放线菌。其中细菌数量占微生物总数

的61.98%~80.21%,放线菌数占17.24%~35.91%,真菌数量占21.15%~36.60%,可见细菌在土壤微生物中占据绝对优势,这与于洋、漆良华、邓旺秋、闵红等^[10-13]的研究结果一致,说明在一定的土壤环境下,细菌数对土壤生物活性起着重要作用。从林龄变化来看,随着林龄增加土壤微生物总量和细菌含量下降,而放线菌含量增加,真菌含量呈现不规律的增加趋势。方差分析表明,土壤细菌数量和微生物总量在3个林龄之间差异不显著,而38 a林放线菌数量分别高出22和18 a林34.25%和36.51%,38 a林下真菌数量分别低于22和18 a约75.33%和58.95%,并且方差分析表明不同林龄之间存在显著差异($p < 0.05$)。

表3 不同林龄土壤微生物数量和显著性分析 10^5 个/g

林龄/a	细菌数	放线菌数	真菌数	微生物总数
38	25.20a	14.60a	0.86b	40.66a
22	30.07a	9.60b	1.51a	41.17a
18	43.13a	9.27b	1.37a	53.77a

3.5 土壤质量评价指标分析

由于土壤各指标之间关系复杂并且存在相互作用,为了更好地分析不同林龄之间华北落叶松人工林土壤的综合质量,对所测定的土壤容重、含水量、毛管孔隙度、全氮、有机质、细菌数量、过氧化氢酶等14个指标进行标准化,并以主成分分析特征贡献率为权重,加权计算评价指标以得到综合分值^[14-15]。通过比较各林龄综合得分,分析华北落叶松人工林土壤质量的演变规律,结果详见表4—5。通过主成分分析可提取2个主成分,其中第一主成分的方差贡献率最大为62.281%,第二主成分方差贡献率为23.689%,这两个主成分的累积反差贡献率为85.969%,且特征值均大于1。因此,这两个主成分能充分反应土壤各指标之间的关系。

对各主成分进行分权计算结果表明,第一主成分线性组合中综合了容重、毛管持水量、毛管孔隙度和有机质,可以看成是土壤理化性质对土壤质量的综合影响,第二主成分中放线菌和真菌占主要地位,可以理解是土壤微生物对土壤质量的影响,这两个主成分中所包含的指标是表征华北落叶松人工林土壤质量的关键指标。

表4 华北落叶松人工林土壤各指标主成分分析

主成份	初始特征值		
	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
第一主成分	8.719	62.281	62.281
第二主成分	3.316	23.689	85.969

表 5 华北落叶松人工林各指标得分系数矩阵

测定指标	第一主成分	第二主成分	测定指标	第一主成分	第二主成分
容重	-0.112	-0.054	速效磷	0.083	-0.133
含水量	0.107	0.047	全氮	0.107	-0.068
毛管持水量	0.114	0.015	过氧化氢酶	0.109	0.058
毛管孔隙度	0.113	-0.040	脲酶	0.091	0.161
pH 值	-0.095	0.095	细菌	0.046	0.178
有机质	0.112	0.054	放线菌	0.027	-0.248
全钾	0.043	-0.260	真菌	0.006	0.265

表 5 为各林龄华北落叶松人工林林下土壤各指标因子得分系数矩阵,对应表 6 的两个主成分得分 (FAC) 的表达式分别为:

$$FAC_1 = \text{容重} \times (-0.112) + \text{含水量} \times 0.107 + \text{毛管持水量} \times 0.114 + \text{毛管孔隙度} \times 0.113 + \text{pH 值} \times (-0.095) + \text{有机质} \times 0.112 + \text{全钾} \times 0.043 + \text{速效磷} \times 0.083 + \text{全氮} \times 0.107 + \text{过氧化氢酶} \times 0.109 + \text{脲酶} \times 0.091 + \text{细菌} \times 0.046 + \text{放线菌} \times 0.027 + \text{真菌} \times 0.006$$

$$FAC_2 = \text{容重} \times (-0.054) + \text{含水量} \times 0.047 + \text{毛管持水量} \times 0.015 + \text{毛管孔隙度} \times (-0.040) + \text{pH 值} \times 0.095 + \text{有机质} \times 0.054 + \text{全钾} \times (-0.260) + \text{速效磷} \times (-0.133) + \text{全氮} \times (-0.068) + \text{过氧化氢酶} \times 0.058 + \text{脲酶} \times 0.161 + \text{细菌} \times 0.178 + \text{放线菌} \times (-0.248) + \text{真菌} \times 0.265$$

根据因子得分系数和土壤各指标原始变量标准化值来计算每个观测因子的得分,所得的得分矩阵详见表 6。

表 6 华北落叶松人工林不同林龄土壤因子得分

主成分	38 a 林	22 a 林	18 a 林
FAC ₁	-0.114	0.220	-0.105
FAC ₂	-1.283	0.491	0.782
综合得分	-0.375	0.253	0.122

土壤质量评价参数可以经过综合主成分得分计算,按照各主成分的贡献率,可以定义综合主成分得分:

$$\sum FAC = \text{第一主成分贡献率} \times FAC_1 + \text{第二主成分贡献率} \times FAC_2$$

$$(FAC_2 = 0.62281 \times FAC_1 + 0.23689 \times FAC_2)$$

其结果可以反映各林龄土壤质量的综合水平,得分为正值表示该林龄土壤质量在平均水平之上,得分为负值则表明在平均水平之下。华北落叶松人工林不同林龄土壤质量综合得分为最高的是 22 a 林下为 0.253,18 a 林下次之为 0.122,38 a 林下最低为 -0.375。

4 结论

(1) 3 个林龄林下土壤物理性质呈现规律性的变化,其中土壤容重随着深度的增加而增大,土壤含水量、毛管持水量和毛管孔隙度均随着土壤深度的增加而递减。这主要是由于 6 月份林下土壤刚解冻,土壤水分充裕,上层含水量大,直接影响到了土壤其它物理指标的大小。

(2) 不同林龄林下土壤有机质含量表现为:22 a > 18 a > 38 a,而在全钾、速效磷和全氮的含量上随着林龄的增大而增大,并且林龄之间存在显著差异。3 个林龄土壤化学性质除 pH 值外,各养分含量具有明显的层次性,表层含量最高,向下表现出逐渐降低的趋势。这主要是由于华北落叶松属于落叶树种,林下会形成很厚的凋落物层,林分枯枝落叶的贮量反映了林地的养分转化状,从而直接影响到土壤其它化学指标。

(3) 3 个林龄土壤酶活性随着土层的加深呈现减小的趋势,表现出明显的层次性,土层之间在 0.05 水平上差异显著;不同林龄之间也表现出了显著差异,其中过氧化氢酶活性随着林龄的增大而减少趋势,脲酶活性在林龄之间有明显差异表现为先升高再降低的趋势。特别是在上层土中这种差异性更为明显,这主要是因为表层土壤能较好地与大气进行物质和能量的交换,有机物质能优先聚集在表层,有机质等营养元素含量高,直接提高了土壤酶活性。

(4) 微生物总数和细菌数随着林龄增大而减少,放线菌数量随着林龄增大而减少,真菌数变化不规律,但林龄间差异显著。其中细菌数量占微生物总数的 61.98%~80.21%,在土壤微生物中占据绝对优势,放线菌次之,真菌最少。这与陆梅等^[16-17]的研究结果一致。说明在一定的土壤环境下,细菌数对土壤生物活性起着重要作用。研究表明土壤微生物数量与土壤酶活性以及营养元素含量的变化一直,营养条件好、土壤微生物活动旺盛。

(5) 对 18,22 和 38 a 华北落叶松人工林林下土壤质量的进行综合研究得出,其土壤质量综合评分分别为 0.122,0.253 和 -0.375,其中 22 a 林综合评分最高,说明其土壤质量最好,这主要是由于 22 a 林处在中林龄阶段,整个林分质量好,林下枯落物以及植被大量繁殖,提高了林下土壤的肥力。而 38 a 由于人工间伐、大量折枝以及林下枯落物多被收集而集中处理,使得林下土壤腐殖质、有机质、营养元素等含量要低于其它两个林龄,并且林分密度也明显低于其它两个林龄,所以这些都可能是林下土壤质量低于其它两

个林龄的原因。通过主成份分析结果表明,土壤容重、毛管持水量、毛管孔隙度、有机质、放线菌和真菌可以作为土壤评价的关键指标。

[参 考 文 献]

- [1] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 68-69.
- [2] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1981: 301-320.
- [3] 陈华癸. 土壤微生物学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 44-45.
- [4] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 116-267.
- [5] 郝艳, 刘君昂, 周国英, 等. 不同抚育措施对油茶林土壤养分、微生物及酶活性的影响[J]. 林业资源管理, 2008, 12(6): 97-101.
- [6] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 296-297, 323-327.
- [7] 代海燕, 张秋良, 魏强, 等. 大青山不同植被土壤物理特征及有效水的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(12): 149-153.
- [8] Aon M A, Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzyme activities and physio-chemical properties in an agricultural soil [J]. Applied Soil Ecology, 2001, 18(3): 255.
- [9] Rosm, Hernandez T, Carcia C. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendents [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(3): 463-469.
- [10] 于洋, 王海燕, 丁国栋, 等. 华北落叶松人工林土壤微生物数量特征及其与土壤性质的关系[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(3): 76-80.
- [11] 漆良华, 张旭东, 周金星, 等. 湘西北小流域不同植被恢复区土壤微生物数量、生物量碳氮及其分形特征[J]. 林业科学, 2009, 45(8): 14-20.
- [12] 邓旺秋, 潘超美, 李泰辉, 等. 油页岩废渣场植林修复过程中的土壤微生物生态[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(5): 522-524.
- [13] 闵红, 和文祥, 李晓明, 等. 黄土丘陵区植被恢复过程中土壤微生物数量演变特征[J]. 西北植物学报, 2007, 27(3): 588-593.
- [14] 李国雷, 刘勇, 李瑞生, 等. 油松人工林土壤质量的演变[J]. 林业科学, 2008, 44(9): 76-81.
- [15] 于海群, 刘勇, 李国雷, 等. 油松幼龄人工林土壤质量对间伐强度的响应[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 65-70.
- [16] Kosage J. The role of phenolic in plant response to infection[J]. Annual Review of Phytopathology, 1969, 7(4): 195-222.
- [17] 陆梅, 卫捷, 韩智亮. 滇池西岸4种针叶林的土壤微生物与酶活性[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(6): 56-59.
- [7] 马芹, 张晓萍, 万龙, 等. 黄土高原河龙区间最大日雨量(PMP)极值拟合及时空演变特征[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 71-76.
- [8] 甘卓亭, 叶佳, 周旗, 等. 模拟降雨下草地植被调控坡面土壤侵蚀过程[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2387-2396.
- [9] 黄金柏, 付强, 王斌, 等. 黄土高原北部水蚀风蚀交错带坡面降雨分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 108-113.
- [10] 于国强, 李占斌, 鲁克新, 等. 黄土高原小流域次降雨侵蚀产沙分段预报模型研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 604-610.
- [11] 刘李霞, 毕华兴, 许华森, 等. 基于GIS的柳沟流域场降雨产流模拟[J]. 四川农业大学学报, 2011, 29(3): 357-364.
- [12] 鲁克新, 李占斌, 张霞, 等. 室内模拟降雨条件下径流侵蚀产沙试验研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 6-14.
- [13] 吴艳, 白建勤, 张晓萍, 等. 基于日雨量的长武县53年来降雨量及侵蚀力演变趋势分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 38-42.
- [14] 万廷朝. 定西市淤地坝建设成效与经验[J]. 水土保持通报, 2005, 25(6): 89-90.
- [15] 张岩, 朱清科. 黄土高原侵蚀性降雨特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 99-103.
- [16] 李学奎, 王志勇, 何建勋. 元谋县小黄瓜园水土保持监测站降雨侵蚀力特征及日降雨侵蚀力模型浅析[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2): 43-46.
- [17] 陈利顶, 吕昌河. 黄土丘陵区土地利用与水土流失的尺度效应研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [18] 寻瑞, 王克林, 于闽, 等. 基于侵蚀降雨特征的湘江流域R因子修正算法[J]. 中国水土保持科学, 2009, 29(2): 43-46.
- [19] 马良, 左长清, 邱国玉. 赣北红壤坡地侵蚀性降雨的特征分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 74-79.
- [20] 代数, 蒋光毅, 夏清, 等. 坡度和雨强对重庆市黄壤旱坡地产流产沙特征的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 1-5.
- [21] 王金叶, 李海防, 段文军, 等. 漓江上游典型森林群落内外降雨特征研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 56-59.
- [22] Feng Xiaoming, Wang Yafeng, Chen Liding, et al. Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau [J]. Geomorphology, 2010, 118(3): 239-248.

(上接第87页)