

油松幼龄人工林土壤质量对间伐强度的响应

于海群¹, 刘勇¹, 李国雷¹, 李瑞生², 吕瑞恒¹

(1. 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; 2. 北京市园林绿化局, 北京 100029)

摘要: 对 18 a 生初植密度为 3 130 株/hm² 的油松人工林进行了 35.7%、49.2% 和 64.2% 共 3 种不同强度间伐及无间伐对照共 4 个处理。3 a 后, 对上述 4 个密度林分内 0—20 cm 土层土壤的理化性质及土壤酶活性进行了研究。结果显示, 对 18 a 生油松林进行间伐可以提高林内土壤质量。随着间伐强度增大, 林内土壤总孔隙度、毛管持水量明显升高, 土壤有机质、速效钾、有效磷含量增加, 过氧化氢酶、多酚氧化酶、脲酶以及碱性磷酸酶的活性增强。方差分析及多重比较结果表明, 不同间伐强度对上述指标影响显著。主成分分析结果表明, 土壤过氧化氢酶活性、脲酶活性和土壤有效磷含量可以作为土壤质量评价指标。随着保留密度降低, 林内土壤质量综合评分依次为: -1.061, 0.032, 0.347 和 0.682。其中, 保留密度为 1 075 株/hm² 的油松幼龄林土壤综合评分最高。

关键词: 油松; 间伐强度; 土壤酶; 土壤养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0065-06

中图分类号: S714.2

Response of Soil Quality to Thinning Intensity in Young *Pinus Tabulaeformis* Plantations

YU Hai-qun¹, LIU Yong¹, LI Guo-lei¹, LI Rui-sheng², LÜ Rui-heng¹

(1. Key Laboratory for Forest Cultivation and Conservation of the Education Ministry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Municipal Bureau of Landscape and Forestry, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to investigate the influences of thinning on soil quality in young *Pinus tabulaeformis* plantations and to provide a reference for reasonable thinning, a thinning experiment was conducted in the 18-year-old *Pinus tabulaeformis* plantation in lower hilly lands of Yingpan and Yanqing County, Beijing City. Four different thinning treatments (0, 35.7%, 49.2%, and 64.2% thinned) were carried out in the stands of 3 130 tree/hm² initial density. In 2005, the 3rd year after thinning, soil physical properties, chemical properties, and soil enzyme activities in the four sample plots were studied. Results showed that thinning has significant effects on soil quality in the 18-year-old *Pinus tabulaeformis* plantation. The thinning would improve capillary spaces and water-holding capacities. Along with the density decreasing, soil organic matter, available K, and available P increased significantly. The catalase, polyphenol oxidase, urease, and alkaline phosphatase activities increased along with the thinning increasing. Results from principle component analysis revealed that soil catalase, urease, and available P could be regarded as indicators to assess soil quality affected by thinning. In the plantations of decreased reserve density, the integrated fertility indexes of soil quality properties were -1.061, 0.032, 0.347, and 0.682, respectively, among which the 64.2% thinning intensity was the best.

Keywords: *Pinus tabulaeformis*; thinning intensity; soil enzyme; soil nutrient

前人通过对人工林分生长、结构、蓄积量等方面的研究来评价抚育措施的效果^[1-2], 然而土壤作为参与森林内物质循环的一部份, 其理化性质及活性物质

含量直接受到林内光、热、水以及林木根系对土壤营养物质的吸收利用等方面的影响, 这些因素和林分密度密切相关^[3-4]。土壤质量在受到林分密度的影响

收稿日期: 2007-11-08

修回日期: 2008-01-27

基金项目: 国家自然科学基金(30471380); 北京市教委项目(JD100220648)

作者简介: 于海群(1980—), 女(汉族), 山东省临沂市人, 在读博士, 主要研究方向为植被恢复生态学。E-mail: yuhaiqun525@163.com。

通信作者: 刘勇(1961—), 男(汉族), 云南省威信县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为森林培育学。E-mail: lyong@bjfu.edu.cn。

的同时又影响林木生长,北京市山区公益林的油松林分初植密度过大和抚育工作滞后,林分普遍长势衰弱^[5]。所以从土壤质量角度对人工林抚育管理效果进行研究对维护人工林地力、可持续地经营森林具有重要意义。

本研究以 18 a 生油松幼龄林为研究对象,设 3 种不同强度间伐及无伐对照共 4 个处理,3 a 后对林内土壤理化性质及土壤酶活性进行研究,旨在从土壤质量角度评价幼龄油松林不同间伐强度的间伐效果,以为油松幼龄林人工抚育管理提供依据。

1 研究地概况

研究地点位于北京市延庆县刘斌堡乡营盘村北低山。地理位置为 40°16'N, 115°40'E。属燕山山脉,多为海拔 800 m 以上的中山,最高处海拔 1 252 m。气候属暖温带大陆性季风气候。年平均温 6.7 °C,全年 ≥0 °C 和 ≥10 °C 积温分别为 3 310.7 °C 和 2 939.7 °C。无霜期 144 d。年降水 519.6 mm,蒸发量为 1 457.2 mm。年平均日照 2 690.7 h。土壤为含石砾较多的山地褐土,成土母岩以花岗岩为主。按中国森林区的具体区划,该地区地带性植被属暖温带森

林带—华北山地森林区—燕山山地森林亚区^[6]。海拔 800~1 200 m 的山区,分布有蒙古栎(*Quercus mongolica*),灌木以鼠李属(*Rhamnus*)、榛属(*Corylus*)、荆条(*Vitex nigundo* var. *heterophylla*) 等为主,草本有披针叶苔草(*Carex lanceolata*)、黄精属(*Polygonatum*)及菊科(*Compositae*)的多种植物。由于人类的过度干扰,该地区以蒙古栎为主的地带性植被已被破坏,仅保留下蒙古栎萌生丛或指示华北植物区系的原生植被的灌木和草本群落。20 世纪 50—80 年代大面积人工造林,树种以油松、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 等为主。

1987 年春,在生有绣线菊、胡枝子、六道木、木本香薷等灌丛和灌木状蒙古栎等植被的山地上沿等高线穴状整地,按 1.5 m × 2 m 栽植 3 龄的油松苗,造林面积 12 hm²,造林成活率达 90% 左右。2002 年 2 月对油松进行了下层间伐,其强度共有 4 种,即间伐 I (0%)、间伐 II (35.7%)、间伐 III (49.2%) 和间伐 IV (64.2%)。2005 在每个间伐强度的林分内设 20 m × 20 m 的标准样地进行土样采集。样地的基本情况见表 1。

表 1 试验样地概况

样地号	间伐前密度/ (株·hm ⁻²)	保留密度/ (株·hm ⁻²)	间伐强度/ %	海拔/m	坡位	坡向	坡度/ (°)	土壤厚度/ cm
I	3 130	3 130	0	877	中	N	24	56
II	2 917	1 875	35.7	880	中	N	16	53
III	3 000	1 525	49.2	880	中	N	19	51
IV	3 000	1 075	64.2	890	中	N	15	52

2 研究方法

2.1 土样的采集

2005 年 4 月初、6 月初、8 月初、10 月初,分别在上述 4 块标准地内以 S 型采集 0—20 cm 土壤,去除石块、根系和土壤动物,混合均匀。同一时间,在每个标准地内选取两株标准树下,分别用 2 个环刀取样,在室内进行孔隙度、持水量等实验^[7]。

2.2 土样分析

土壤容重、持水量、孔隙度等水分物理性质用环刀一次取样连续测定^[7], pH 值采用电位法,有机质采用重铬酸钾氧化—外加加热法,全氮采用硒粉—硫酸铜—硫酸消化法,有效磷采用氟化铵—盐酸浸提法,速效钾采用乙酸铵浸提—火焰光度法^[8]。土壤过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法;碱性磷酸酶采用磷酸苯

二钠比色法,土样在 37 °C 下培养 24 h;脲酶采用靛酚比色法,土样在 38 °C 下培养 24 h;转化酶采用硫代硫酸钠滴定法,土样在 38 °C 下培养 24 h^[9]。多酚氧化酶采用碘量滴定法,土样在 37 °C 下培养 24 h^[10],每个土壤样品进行 3 次重复测定。实验数据采用 SPSS 统计软件分析。

3 结果分析

3.1 间伐强度对油松幼龄人工林土壤物理性质影响

土壤含水量是林内湿润状况的直接反映,是衡量土壤水分供应状况和评价森林土壤水源涵养能力的重要指标,它影响到凋落物与土壤表层的物质和能量交换及土壤盐基养分的淋溶。由表 2 可见,本试验中随间伐强度的增大,18 a 生油松人工林土壤含水量

由 9.80% 逐渐增大到 13.64%, 土壤最大持水量、毛管持水量随间伐强度的增大基本呈增大趋势。认为由于未间伐油松幼龄林单位面积林地上林木负载量过大, 在蒸腾作用下土地水分耗散加剧^[11-12], 而林下土壤和凋落物变干燥, 导致凋落物腐烂分解减缓, 向土壤转移的有机质减少, 有机质减少又使土壤持水能力降低^[13]。土壤容重是土壤紧实度的敏感性指标, 也是表征土壤质量的一个重要参数^[14-15], 它与土壤的孔隙度和渗透率密切相关。由表 2 可见间伐 I 土壤容重最大, 间伐 III 次之, 间伐 IV 最小。土壤孔隙度的大小、数量及分配是土壤物理性质的基础, 也是评价土壤结构特征的重要指标^[13]。

由表 2 可见, 随间伐强度的增大林地土壤总孔隙度、毛管孔隙比例逐渐增加。土壤非毛管孔隙度为: 间伐 I > 间伐 IV > 间伐 II > 间伐 III。这表明未间伐林分内土壤含水量低加上林内光照条件差, 土壤酶活性及微生物数量受到抑制, 导致凋落物分解缓慢, 影响土壤结构, 导致土壤容重较间伐林分大, 土壤总孔隙度、毛管孔隙比例较低。方差分析结果显示, 不同保留密度林分内毛管持水量 ($F = 6.635, P = 0.007$) 差异达到极显著水平, 最大持水量 ($F = 5.594, P = 0.012$), 容重 ($F = 4.865, P = 0.019$) 达到显著差异水平。

3.2 间伐强度对油松幼龄人工林土壤化学性质影响

森林土壤有机质来源于植被残体和一些土壤生

物, 通过矿化和腐殖化成为土壤养分的贮存库和土壤微生物活动的能量来源, 其含量的高低明显影响植物对土壤养分的吸收利用。由表 3 可见, 随间伐强度增大, 18 a 生油松人工林土壤有机质含量逐渐升高。其中密度 IV 油松林土壤有机质含量最高为 40.327 g/kg, 密度 III, II 次之, 未间伐的密度 I 林分内土壤有机质含量最低为 28.024 g/kg。人工油松林内土壤有机质的植物来源除了乔木落叶外草本和灌木的数量对其影响很大, 间伐后林下植被数量的升高本身增加了有机质的植物来源^[16], 同时土壤湿度的增加以及非毛管孔隙度的升高都为微生物活动提供了有利条件, 促进凋落物的分解转化。

随间伐强度的增大, 土壤全氮含量逐渐升高。土壤有效磷呈现先升高后降低的趋势, 其中密度 II 土壤有效磷含量最高为 2.142 mg/kg。未间伐的对照林分内有机质、有效磷、全氮及速效钾含量均为最低。间伐可以改善土壤物理性质, 其中土壤水分含量, 毛管持水量土壤总孔隙度、毛管孔隙度均随着间伐强度的升高, 凋落物分解率也随之增高^[16], 因此释放到土壤中的全氮和速效钾含量都会增加。

方差分析结果表明, 本试验不同密度林分内土壤有机质 ($F = 4.153, P = 0.031$) 含量差异显著, 有效磷 ($F = 6.641, P = 0.007$)、全氮 ($F = 14.693, P = 0.0002$) 含量差异极显著。

表 2 不同间伐强度油松人工林土壤物理性质

间伐强度	含水量/ %	最大持水量/ %	毛管持水量/ %	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %
I	9.80±9.49a	34.08±0.56b	31.03±1.63c	1.193±0.06a	40.59±3.23b	37.00±1.33a	3.59±1.90a
II	12.44±6.82a	40.23±2.87a	35.99±1.10b	1.072±0.05b	42.99±1.94a	38.53±1.37a	4.46±1.57a
III	13.61±9.69a	40.09±3.89a	36.90±3.88b	1.107±0.09b	44.10±3.72a	40.74±1.29a	3.36±2.43a
IV	13.64±9.95a	43.86±4.34a	40.11±3.89a	1.040±0.10b	45.00±3.67a	41.34±1.49a	3.66±2.18a

注: 同列不同字母表示表示在 0.05 水平差异显著, 相同字母表示差异不显著。下同。

表 3 不同间伐强度的油松人工林土壤化学性质

间伐强度	pH 值	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
I	6.87±0.071	28.024±0.718	0.988±0.024	1.293±0.061	65.04±0.779
II	6.73±0.106	30.439±0.393	1.092±0.024	2.142±0.088	75.10±2.313
III	6.60±0.092	31.384±0.836	1.170±0.079	1.475±0.078	85.15±1.255
IV	6.65±0.099	40.327±0.499	1.466±0.062	1.307±0.056	85.58±2.729

3.3 密度对油松幼龄人工林土壤酶活性的影响

过氧化氢酶和多酚氧化酶是两种重要的土壤氧化还原酶, 前者通过酶促过氧化氢的分解防止其对生物体的毒害作用, 后者参与土壤有机组分中芳香族化

合物的转化, 对增加土壤有机质含量, 提高土壤肥力具有重要意义^[9]。

本试验结果显示, 密度 II 油松林土壤多酚氧化酶活性最大, 密度 IV, II 次之, 密度 I 最小; 过氧化氢酶

活性随间伐强度的增加而逐渐增强增大(图 1)。随着季节的变更,土壤过氧化氢酶活性在 4 月份开始上升 6 月份活性最大,在 8 月份有所下降,10 月份比 8 月份要高(图 1)。

转化酶、脲酶、碱性磷酸酶是土壤中常见的 3 种水解酶。土壤脲酶活性高低在一定程度上反应了土壤供氮水平、土壤熟化程度和肥力水平,对增加土壤中易溶性营养物质起重要作用^[17]。对不同间伐强度土壤酶活性的平均值进行比较发现,转化酶、脲酶、碱

性磷酸酶活性均随着间伐强度的增加而增加。随着季节的变更,土壤转化酶、脲酶、碱性磷酸活性变化趋势一致,均是从 4 月份活性上升,到 6 月份有个低值,8 月份达到最大,到 10 月有所降低(图 1)。认为是随着间伐强度的增强,林内土壤孔隙度升高有利于土壤微生物活动,促进林内凋落物分解,有机质含量增加的同时土壤酶活性增强。这一点和吴忠红等关于土壤有机质含量和土壤微生物总量呈明显正相关的实验结果相一致^[18]。

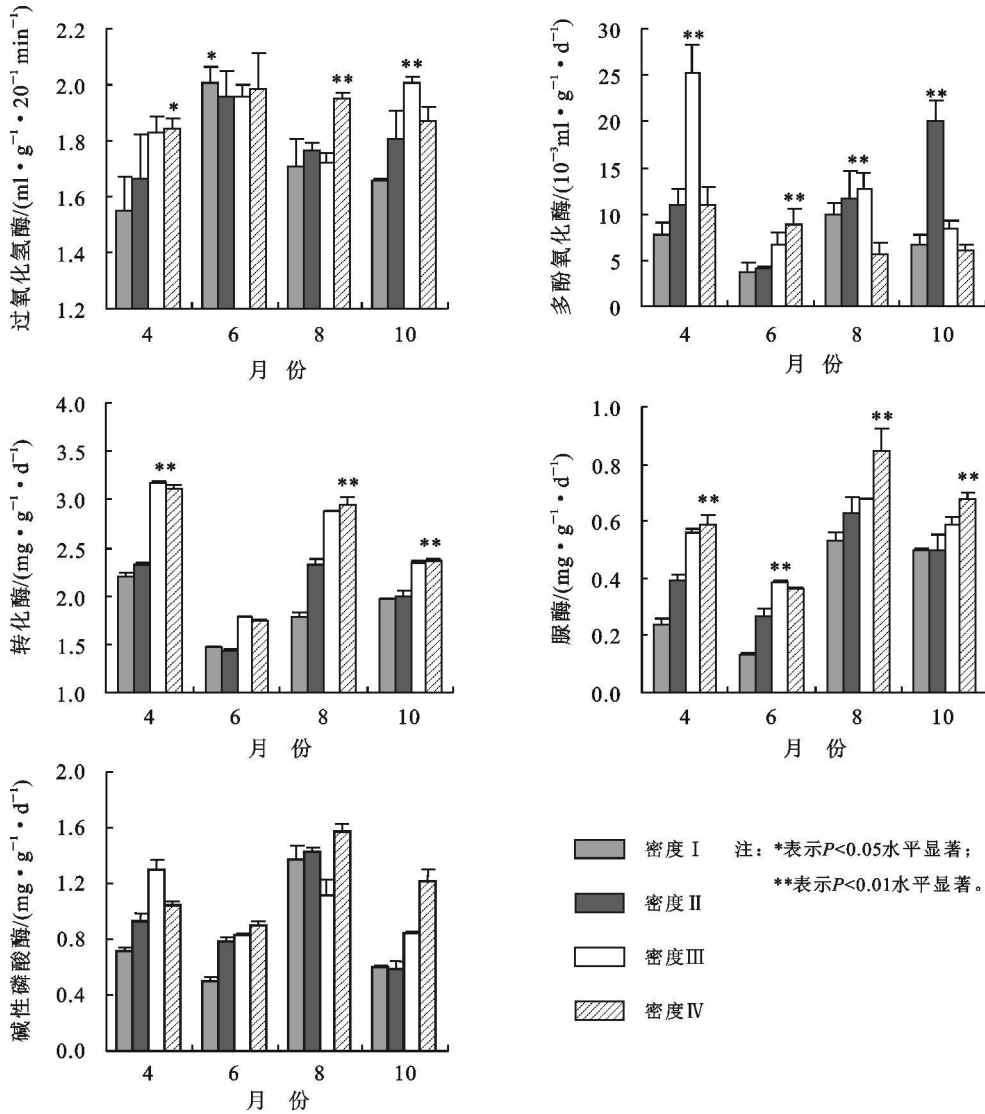


图 1 人工油松林土壤酶活性对间伐响应的季节动态

3.4 土壤质量的评价指标分析

土壤是在各种成土因素非常复杂的相互作用下形成并发展的。由于土壤生物的作用,土壤有机物质、无机物质形成的非生物环境和土壤生物形成了相互关联、相互制约的生态系统^[18]。所以本研究涉及的土壤物理性质、化学性质和土壤酶活性并不孤立存在的,适当地选择部分指标即可反映整个土壤质

量^[3]。为了分析不同密度油松幼龄林土壤理化性质以及土壤酶之间的关系,把本试验中各间伐林分土壤物理性质、化学性质和土壤酶共 16 个指标 4, 6, 8, 10 月份的数据取平均值。标准化之后进行主成分分析(见表 4—5)。从而用于选择幼龄油松林土壤评价指标,建立土壤质量指标评价体系。计算出相关矩阵的特征值,以及各主成分的贡献率和累积贡献率(结果

见表4)。可以看出,第一主成分的方差贡献率最大,为73.761%,第二主成分方差贡献率为16.218%,这两个主成分的累积方差贡献率为89.979%,且特征根均大于1。因此,这两个主成分能反映土壤各指标之间的关系。对各主成分进行的分权计算结果表明,第一主成分中过氧化氢酶、脲酶和第二主成分中有效磷对土壤质量的影响程度较大,是表征油松幼龄林土壤质量的关键指标。

表4 油松人工林土壤信息系统主成分分析

项目	第一主成分	第二主成分
特征根	11.802	2.595
方差贡献率	73.761	16.218
累计贡献率	73.761	89.979

计算各因子在第一、二主成分上的得分矩阵,结果见表5。

表5 油松人工林土壤有关因子得分信息

项目	主成分		项目	主成分	
	1	2		1	2
水分	0.079	0.091	全氮	0.079	-0.092
容重	0.070	0.149	有效磷	-0.016	0.383
最大持水量	0.079	0.083	速效钾	0.082	0.014
毛管持水量	0.082	0.046	过氧化氢酶	0.085	-0.025
毛管孔隙度	0.084	-0.038	转化酶	0.081	-0.074
非毛管孔隙度	-0.022	0.322	脲酶	0.085	-0.035
pH	-0.076	-0.060	碱性磷酸酶	0.084	-0.041
有机质	0.075	-0.098	多酚氧化酶	0.020	0.251

根据因子得分系数和原始变量的标准化值来计算每个观测量的各因子的得分。旋转后即得因子(主成分)矩阵,结果见表6。

表6 油松人工林土壤因子得分系数矩阵

项目	I	II	III	IV
F_1	-1.261	-0.269	0.479	1.052
F_2	-0.802	1.420	-0.037	-0.581

综合主成分得分计算 按照各个主成分的贡献率,定义综合主成分得分, $\sum F =$ 第一主成分贡献率 $\times F_1 +$ 第二主成分贡献率 $\times F_2 = 0.73761 \times F_1 + 0.16218 \times F_2$, 它反映了各间伐林分土壤质量的综合水平,得分为正值表示这一间伐林分的该主成分在平均水平之上;得分为负则表明在平均水平以下。由表7可见,18 a 生油松人工林密度IV土壤质量综合得分为0.682,位居第一,密度III综合得分为0.347,未间伐密度I 林分土壤质量综合得分最低。

表7 油松人工林土壤因子得分

间伐	I	II	III	IV
综合得分	-1.061	0.032	0.347	0.682

4 结论

(1) 林分密度调整对18 a 生油松林土壤理化性

质影响显著,随着间伐强度增加林内土壤含水量、总孔隙度、毛管持水量明显升高,土壤有机质含量、速效钾、有效磷含量上升。

(2) 本试验4种保留密度林分内,20 cm 土层厚度的5种土壤酶除6月份转化酶活性差异不显著以外其余各个月份各个林分内均达到极显著差异。说明土壤酶活性对林内土壤理化性质的差异反应敏感。在最后对油松幼龄林不同保留密度林分内16个土壤质量指标主成分分析结果表明,土壤过氧化氢酶活性、脲酶活性和土壤有效磷含量可以作为土壤质量评价指标。

(3) 18 a 生油松林处于快速生长期,对土壤养分的消耗速度也相应加快。此期若间伐不及时,会导致林内环境不利于土壤微生物活动,凋落物累积,土壤质量下降。因此,间伐这一抚育方式对幼龄阶段的油松林尤为重要。对4种密度林分土壤质量指标综合评分结果表明,间伐IV保留密度为1075株/hm²的林分土壤因子在土壤评价系统中综合得分最高,未间伐林分综合得分最低。因此适度间伐可以改善油松幼龄林土壤结构,提高土壤有机质含量以及增强土壤酶活性。

[参 考 文 献]

- [1] 洪伟. 杉木人工林种群密度与生长规律研究[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(4): 293-296.

- [2] 曹云, 杨劫, 宋炳煜, 等. 人工抚育措施对油松林生长及结构特征的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 397—402.
- [3] 郭蓓, 刘勇, 李国雷, 等. 飞播油松林地土壤酶活性对间伐强度的响应[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 1—9.
- [4] 张鼎华, 叶章发, 范必有, 等. 抚育间伐对人工林土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 672—676.
- [5] 马履一, 李春义, 王希群, 等. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 1—9.
- [6] 蒋有绪, 郭泉水, 马娟, 等. 中国森林群落分类及其群落学特征[M]. 北京: 北京科学出版社, 中国林业出版社, 1998: 3—20.
- [7] 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.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 35—100.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 265—267.
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 188—359.
- [11] 潘德成, 姜涛, 于涛. 林分结构调整对固沙林地生态环境影响[J]. 水土保持应用技术, 2007(2): 4—5.
- [12] 孙鹏森, 马李一, 马履一. 油松、刺槐林潜在耗水量的预测及其与造林密度的关系[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(2): 1—6.
- [13] 张希彪. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3685—3695.
- [14] Acosta Martinez V, Reicher Z, Bischoff M, et al. The roal of tree leaf mulch and nitrogen fertilizer on turf grass soil quality[J]. Biol Fort Soils, 1999, 29: 55—61.
- [15] Whalley W R, Dumitru E, Dexter A R. Biological effects of soil compaction[J]. Soil Till Res, 1995, 35: 53—68.
- [16] 盛炜彤, 杨承栋. 关于杉木林下植被对改良土壤性质效用的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(4): 377—385.
- [17] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 106—221.
- [18] 吴忠红, 杜新民, 张永清, 等. 晋南日光温室土壤微生物及土壤酶活性变化规律研究[J]. 土壤肥料科学. 2007, 23(1): 296—298.

(上接第 52 页)

[参 考 文 献]

- [1] 卞义宁. 陇东半干旱地区刺槐水保林合理密度分析与探讨[J]. 中国水土保持, 1996(3): 22—24.
- [2] 卞义宁. 陇东黄土高原沟壑区刺槐水保林合理密度初探[J]. 中国水土保持, 1994(9): 32—35.
- [3] 王力, 邵明安, 李裕元. 陕北黄土高原人工刺槐林生长与土壤干化的关系研究[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 84—91.
- [4] 杨建伟, 梁宗锁. 不同土壤水分下刺槐和油松的生理特征[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(3): 12—17.
- [5] 杨建伟, 梁宗锁. 不同土壤水分状况对刺槐的生长及水分利用特征的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(5): 93—98.
- [6] 曹军胜, 刘广全. 刺槐光合特性的研究[J]. 西北农业学报, 2005, 14(3): 118—122.
- [7] 张卫强. 黄土半干旱区刺槐林地土壤蒸发特性研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6), 397—403.
- [8] 田晶会, 王百田. 黄土半干旱区刺槐林水分与生长关系研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5), 61—64.
- [9] 单长卷. 黄土高原不同立地条件下刺槐生长与水分关系研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 9—14.
- [10] 李鹏, 李占斌. 渭北黄土高原不同立地上刺槐根系分布特征研究[J]. 水土保持通报, 2002, 22(5): 15—19.
- [11] 王力, 邵明安. 延安试区人工刺槐林地的土壤干层分析[J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 101—106.
- [12] 李鹏, 赵忠. 渭北黄土区刺槐根系空间分布特征研究[J]. 生态环境, 2005, 14(3): 405—409.
- [13] 王玉, 郭建斌. 黄土高原半干旱区侧柏人工林群落物种多样性研究[J]. 林业调查规划, 2007, 32(4): 22—26.
- [14] 毕润成, 成亚丽. 吕梁山南端白皮松的群落特征及其多样性的研究[J]. 植物研究, 2002, 23(3): 366—372.
- [15] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [16] 刘兆刚. 测树学教学实习指导书[J]. 东北林业大学森林经理学科, 2004.
- [17] 段爱国, 张建国, 童书振, 等. 杉木人工林林分直径结构动及其密度效应的研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 178—184.
- [18] 宋金聪. 人工楠木林分结构及生长状况分析[J]. 福建农业科技, 2006(4): 73—75.
- [19] Raunkiaer C. The life form of plant and Statistid Plant Geography[M]. Oxford. Clarendon Press, 1934: 623.