

# 太白山不同林分土壤肥力状况比较研究

余 雕, 朱盼盼, 程苗苗, 李浩宏, 耿增超\*

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**通过对秦岭太白山地区以榿栎、檀子栎、榆树、臭椿、辽东栎和栎树等为优势树种的 6 种林分林下土壤的有机质、碱解氮、速效磷及阳离子交换量等肥力因子的比较研究,反映了不同林分土壤的基本肥力状况。结果表明:不同林分对土壤肥力状况影响不同。榿栎林和臭椿林土壤碱解氮含量较高。榆树林土壤的速效磷含量远远高于其他树种,0~20 cm 土层速效磷含量为 12.69 mg · kg<sup>-1</sup>。臭椿林土壤表层的有机质含量(159.42 g · kg<sup>-1</sup>)和阳离子交换量(51.54 cmol · kg<sup>-1</sup>)最高。

**关键词:**太白山;不同林分;土壤肥力

**中图分类号:** S714.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-7461(2011)04-0007-06

## Soil Fertility of Different Stands in the Taibai Mountains

SHE Diao, ZHU Pan-pan, CHENG Miao-miao, LI Hao-hong, GENG Zeng-chao\*

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The forest soil fertility in six different stands, *Quercus aliena*, *Quercus baronii*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*, *Quercus liaotungensis*, and *Koelreuteria paniculata* in the Taibai Mountains were studied. The results showed that, different tree species had different effects on soil fertility. Contents of alkali-hydrolyzable N in the *Q. aliena* forest and the *A. altissima* forest were higher than other stands. The content of available P in *U. pumila* forest was far higher than others, which was 12.69 mg · kg<sup>-1</sup> (0~20 cm soil layes). The organic matter (159.42 g · kg<sup>-1</sup>) and the cation exchange capacity (51.54 cmol · kg<sup>-1</sup>) of the *A. altissima* forest were the highest.

**Key words:** Taibai Mountains; different stands; soil fertility

土壤肥力是植被和土壤相互作用的结果,二者相互促进,相互影响<sup>[1-2]</sup>。不同林分凋落量和凋落物的性质不同,养分归还量不同,对林下土壤肥力的影响有很大差异<sup>[3-4]</sup>。林波等通过对川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响,认为不同森林群落的凋落量、贮量、养分归还量,及凋落物分解速率,对林下土壤肥力状况的影响不尽相同<sup>[5]</sup>。薛立等对几个典型华南人工林土壤养分状况的研究表明,各树种凋落物的数量、化学成分和分解速率不同,导致不同林分下土壤养分有较大差异<sup>[6]</sup>。

有机质、碱解氮、速效磷、阳离子交换量是评价

土壤肥力的重要指标。李文宣通过对森林土壤有机质与氮素供应的研究,认为提高土壤肥力应从提高有机质含量,调节有机质积累与分解入手,建议营造阔叶林树种<sup>[7]</sup>。曹志洪提出了我国土壤质量指标体系的初步建议方案,其中土壤化学指标包括土壤有机质、速效钾、有效磷、pH 等<sup>[8]</sup>。1991 年,在土壤质量评价与监测国际会议中大多数学者认为评价土壤质量的化学指标包括 pH、含盐量、阳离子交换量、有机质等<sup>[9]</sup>。常庆瑞等在研究黄土丘陵区人工林地土壤肥力质量时根据植被对土壤理化性质和肥力的影响,选择土壤有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、速

收稿日期:2010-05-05    修回日期:2010-06-29

基金项目:科技部科技基础性工作专项(2007FY210300)

作者简介:余雕,男,讲师,主要从事土壤学教学和研究。

\* 通讯作者:耿增超,男,教授,硕士生导师,主要从事土壤学教学与研究。E-mail: gengzengchao@sina.com

效 P、速效 K、阳离子交换量、CaCO<sub>3</sub> 和 pH 值等 10 个项目进行测定<sup>[10]</sup>。

对于人工林、混交林、典型草原等不同植被对土壤的理化性质和肥力的研究很多<sup>[11-19]</sup>,但对于我国秦岭太白山地区不同林分林下土壤剖面不同层次的肥力状况的研究较少。笔者对秦岭太白山南坡的不同林分林下土壤的肥力状况进行了研究,旨在为该区域森林土壤资源的科学管理与评价以及森林植被的更新、恢复与重建提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

太白山是秦岭主峰,海拔 3 767 m。气候垂直变化较大,四季分明。寒冷而干燥,降水偏少,集中在 7~9 月份,属典型的内陆季风气候区。从气候垂直变化看,由低向高依次出现了暖温带、温带、寒温带和亚寒带。本研究主要在海拔 1 100~1 650 m 之间进行,土壤以山地棕壤为主。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地选择及取样 在太白山南坡海拔 1 100~1 650 m 之间,分别在槲栎(*Quercus aliena*)、榿子栎(*Q. baronii*)、榆树(*Ulmus pumila*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、辽东栎(*Q. liaotungensis*)和栎

树(*Koelreuteria paniculata*) 6 种林分中设定采样区,采样区面积为 25 m×25 m,每一采样区选取 10 个剖面点,每个剖面点分别采集 0~20 cm、20~30 cm、30~50 cm 3 层剖面土样并将相应土层的 10 个剖面点的土样混合,再用四分法缩分成为该层的混合土壤样品,分别装袋带回并进行室内分析。

1.2.2 测定项目及其方法 有机质测定采用重铬酸钾容量法(外加热法),速效氮采用碱解扩散法,速效磷采用 0.5M NaHCO<sub>3</sub> 浸提钼锑抗比色法,阳离子交换量采用乙酸铵交换法。

1.2.3 数据处理 采用 Excel 和 DPS 进行数据处理,用 Duncan 新复极差法(SSR 法)进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林分有机质的剖面分异特征

从图 1 可知,各林分林下土壤中有有机质含量总体上随土层深度的增加而降低,这是由枯落物的表聚性造成的。0~20 cm 土层表现为:臭椿>榆树>栎树>榿子栎>辽东栎>槲栎;20~30 cm 土层表现为:臭椿>榆树>栎树>榿子栎>辽东栎;30~50 cm 土层表现为:榆树>臭椿>栎树>榿子栎>辽东栎。

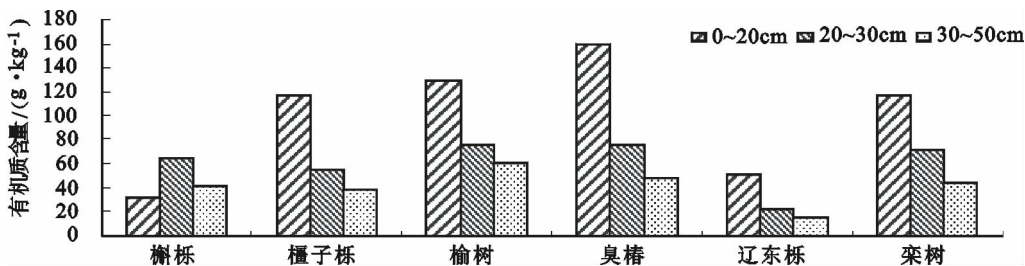


图 1 不同林分下土壤不同剖面层次土壤有机质含量

Fig. 1 Organic matters of different soil profiles in different stands

从表 1 可看出,0~20 cm 土层,除榿子栎林和栎树林差异不显著外,其余林下土壤有机质含量差异均达到显著水平;20~30 cm 土层,榆树林、臭椿林和栎树林下土壤有机质含量差异不显著,栎树林和槲栎林的差异也不显著,榿子栎、辽东栎差异显著,槲栎林 20~30 cm 土层有机质含量较高,这是由于槲栎是深根性植物,所以表层有机质含量比较低;30~50 cm 土层,臭椿林和栎树林,栎树林和槲栎林差异不显著。综合看来,土壤有机质含量臭椿>榆树>栎树和榿子栎>槲栎>辽东栎,表明臭椿林能明显地改善林地的土壤养分状况,对防止土地退化具有显著的作用,辽东栎林改良土壤的效果较差。土壤有机质与土壤矿质部分共同作为林木营养的源与库,能改善土壤的理化性状,促进土壤生物活动,

对于提高土壤肥力具有重要的作用<sup>[20-23]</sup>。

表 1 不同林分下土壤不同剖面层次有机质含量及差异显著性

Table 1 Organic matters of different soil profiles in different stands and the result of significant differences

树种	有机质含量/(g·kg <sup>-1</sup> )		
	0~20 cm	20~30 cm	30~50 cm
槲栎	31.36(0.36)e	64.33(5.11)b	40.94(4.10)cd
榿子栎	116.70(2.26)c	55.50(2.31)c	38.61(2.93)d
榆树	128.49(1.87)b	75.04(0.86)a	60.89(0.74)a
臭椿	159.42(1.37)a	75.95(0.69)a	48.04(0.64)b
辽东栎	51.41(0.21)d	21.02(1.51)d	14.34(1.11)e
栎树	117.02(3.42)c	70.96(4.60)ab	44.36(0.62)bc

注:括号里的数字为标准差;同一行上标有相同字母者表示差异不显著( $p<0.05$ )。下表同。

3.2 不同林分碱解氮的剖面分异特征

从图 2 可以看出,各树种林下土壤碱解氮含量总体上随土层深度的增加而降低。由于森林土壤表层的氮大多来源于枯落物的分解,并受枯落物分解速率制约,所以枯落物的表聚性导致了土壤碱解氮

含量表层比下层高。0~20 cm 土层表现为:臭椿>槲栎>榆树>榿子栎>栎树>辽东栎;20~30 cm 土层表现为:槲栎>榆树>栎树>臭椿>榿子栎>辽东栎;30~50 cm 土层表现为:槲栎>榆树>臭椿>栎树>榿子栎>辽东栎。

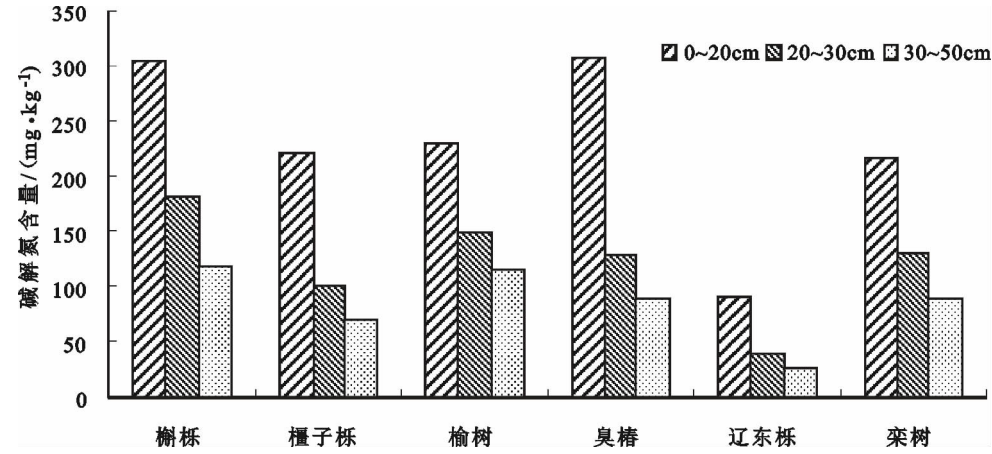


图 2 不同林分土壤不同剖面层次土壤碱解氮含量

Fig. 2 Alkali-hydrolyzable N of different soil profiles in different stands

从表 2 可看出 0~20 cm 的土层中,臭椿林下土壤中的有效氮含量最高,槲栎的次之,与其他几个树

表 2 不同树种林下土壤不同剖面层次土壤碱解氮含量及差异显著性比较

Table 2 Alkali-hydrolyzable N of different soil in different stands and the result of significances of difference

树种	碱解氮含量/(g·kg <sup>-1</sup> )		
	0~20 cm	20~30 cm	30~50 cm
槲栎	303.99(11.90)a	181.24(0.94)a	117.68(2.72)a
榿子栎	219.57(17.39)b	100.02(0.23)d	69.79(2.16)c
榆树	230.27(3.78)b	147.90(3.32)b	115.13(8.71)a
臭椿	308.33(19.01)a	126.94(0.42)c	89.18(2.06)b
辽东栎	90.57(1.23)c	39.24(2.85)e	25.75(0.00)d
栎树	216.92(4.15)b	129.03(1.24)c	88.32(7.41)b

种相比达到了显著性差异,榆树、榿子栎和栎树林下土壤中碱解氮含量差异不显著,辽东栎林下土壤中碱解氮含量最少,臭椿林的土壤有效氮含量高

土壤中碱解氮含量的差异不显著,其他树种均达到显著性差异;30~50 cm 土层,槲栎和榆树林下土壤中的碱解氮含量差异不大,臭椿和栎树林下的相应值相差不大。显然槲栎林有利于土壤有效氮的积累。

3.3 不同林分速效磷的剖面分异特征

从图 3 中可以看出各林分下土壤中速效磷含量总体上随土层深度的增加而降低(槲栎例外,20~30 cm 速效磷含量最少),榆树林和榿子栎林的表层土壤速效磷含量远远高于下面两层,辽东栎林土壤不同层次速效磷含量变化较小。0~20 cm 土层表现为:榆树>榿子栎>栎树>臭椿>槲栎>辽东栎;20~30 cm 土层表现为:榆树>榿子栎>栎树>臭椿>槲栎>辽东栎;30~50 cm 土层表现为:槲栎>臭椿>榿子栎>栎树>榆树>辽东栎。榆树林下土壤速效磷含量最高,可能是受此地母质影响也可能是由于根系作用使难溶性磷转化为速效磷。

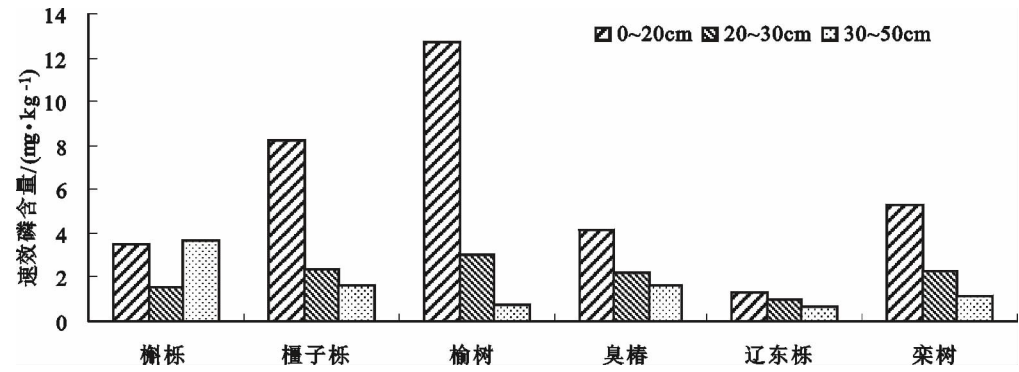


图 3 不同林分下土壤不同剖面层次土壤速效磷含量

Fig. 3 Available P of different soil profiles of different stands

表 3 不同树种林下土壤速效磷含量及差异显著性

Table 3 Available P of soil under different species and significances of difference			
树种名	速效磷含量/(g · kg <sup>-1</sup> )		
	0~20 cm	20~30 cm	30~50 cm
槲栎	3.48(0.98)c	1.51(0.23)bc	3.70(0.11)a
槲子栎	8.19(0.83)b	2.32(0.04)ab	1.60(0.07)b
榆树	12.69(0.91)a	3.05(0.20)a	0.72(0.30)c
臭椿	4.18(0.40)c	2.20(0.80)ab	1.62(0.20)b
辽东栎	1.34(0.59)d	0.98(0.30)c	0.64(0.00)c
栎树	5.31(0.60)c	2.26(0.10)ab	1.13(0.30)bc

从表 3 可看出,0~20 cm 土层中,栎树林、臭椿林和槲栎林的速效磷含量依次降低,但差异不显著,但与其他林分速效磷含量差异都达到显著水平,榆树林的速效磷含量最高,与其他树种达到显著性差异,较辽东栎林高 847.01%; 20~30 cm 土层中,榆树林、槲子栎林、栎树林和臭椿林的速效磷含量差异不显著,榆树林速效磷(3.05 mg · kg<sup>-1</sup>)含量最高,辽东栎林速效磷(0.98 mg · kg<sup>-1</sup>)含量最低,榆树

林速效磷比辽东栎林高 211.22%;30~50 cm 土层中,槲栎林速效磷含量最高,与其他树种林速效磷含量呈显著性差异,臭椿林、槲子栎林和栎树林土壤速效磷含量依次降低,但差异不显著,栎树林、榆树林和辽东栎林土壤速效磷含量依次降低,差异也不显著。总体而言,不同林分相同深度下土壤速效磷的含量差异较大,同一林分不同层次土壤速效磷含量差异也较大。

3.4 不同林分阳离子交换量 (CEC) 的剖面分异特征

从图 4 可看出:各树种林土壤中 CEC 含量总体上随土层深度的增加而降低(槲栎林例外,20~30 cm CEC 含量最高)。0~20 cm 土层表现为:臭椿>榆树>栎树>槲子栎>辽东栎>槲栎;20~30 cm 土层表现为:臭椿>榆树>栎树>槲栎>槲子栎>辽东栎;30~50 cm 土层表现为:榆树>臭椿>栎树>槲子栎>辽东栎>槲栎。CEC 含量顺序与土壤有机质含量顺序基本相同,与张静等的研究结果一致<sup>[24]</sup>。

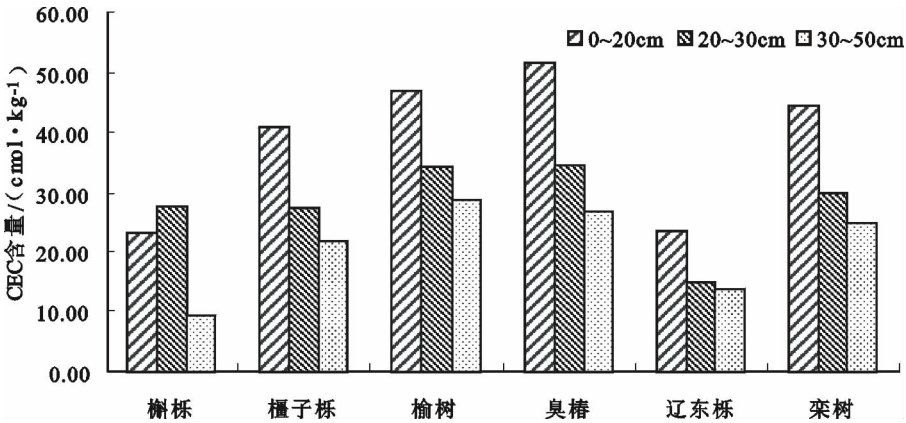


图 4 不同林分下土壤不同剖面层次土壤 CEC 含量  
Fig. 4 CEC of different soil profiles of different stands

从表 4 可看出,0~20 cm 土层,各个树种林下土壤 CEC 含量差异(除槲栎林与辽东栎林)均达到显著性水平,臭椿林下土壤 CEC 含量(51.54 cmol · kg<sup>-1</sup>)最高,槲栎林下土壤 CEC 含量(22.99 cmol · kg<sup>-1</sup>)最低,臭椿林较槲栎林高 124.18%;从 20~30 cm 土层看,榆树林和臭椿林的 CEC 含量较高,但差异不显著,槲栎林与槲子栎林差异不显著,辽东栎林和栎树林的差异与其他的均显著;30~50 cm 土层各树种林差异均显著,且榆树>臭椿>栎树>槲子栎>辽东栎>槲栎,榆树林下土壤 CEC 含量高出槲栎林 205.22%。阳离子交换量的大小与土壤可能吸收的速效养分的容量及土壤保肥力有关,交换量大的土壤就能吸收较多的速效养分,避免们在

短期内完全流失<sup>[25-26]</sup>。

表 4 林分下土壤不同剖面层次土壤 CEC 含量及差异显著性比较

Table 4 CEC of forest soil of different species and significances of difference			
树种名	CEC 含量/(cmol · kg <sup>-1</sup> )		
	0~20 cm	20~30 cm	30~50 cm
槲栎	22.99(0.28)e	27.70(0.59)c	9.39(0.00)f
槲子栎	40.88(0.09)d	27.38(0.21)c	21.76(0.06)d
榆树	46.69(0.35)b	34.15(0.07)a	28.66(0.00)a
臭椿	51.54(0.72)a	34.43(0.35)a	26.55(0.14)b
辽东栎	23.24(0.35)e	14.84(0.07)d	13.53(0.28)e
栎树	44.51(0.64)c	29.73(0.07)b	24.57(0.00)c

### 3 结果与讨论

太白山 6 种不同林分中, 槲栎林下土壤碱解氮含量最高, 榆树林下土壤速效磷含量最高, 臭椿林下土壤有机质含量和阳离子交换量最高。不同树种对同种养分的吸收速率不同, 与 R. S. Yadav 等研究印度拉贾斯坦邦半干旱地区的不同树种下落叶动态变化和土壤性质中所得结论一致<sup>[27]</sup>。因此, 不同树种混交与种植单一树种相比可极大地增强土壤肥力, 并能有效改善和协调不同树种间的生长。

6 种不同林分下有机质, 有效 N、P、K 含量, CEC 含量基本上都随深度增加而减少, 说明养分具有表聚性, 这是由于森林土壤养分主要来源于枯落物的分解。

### 参考文献:

[1] 张展, 高照良, 宋晓强, 等. 黄延高速公路边坡植被与土壤特性调查研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4):192-195.  
ZHANG Z, GAO Z L, SONG X Q, *et al.* Investigation of slope vegetation and soil properties on the Huangling-Yan'an highway[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(4): 192-195.

[2] 邓艳, 蒋忠诚, 罗为群, 等. 典型岩溶区植被恢复对土壤养分的影响[J]. 地球与环境, 2010, 38(1): 31-35.  
DENG Y, JING Z C, LUO W Q, *et al.* Effects of vegetation restoration on soil nutrient in typical karst area[J]. Earth and Environment, 2010, 38(1): 31-35.

[3] 费鹏飞. 森林凋落物对林地土壤肥力的影响[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(13): 55-56.  
FEI P F. The effects of forest litter on soil fertility[J]. Anhui Agriculture Science, 2009, 15(13): 55-56.

[4] 林波, 刘庆, 吴彦. 森林凋落物研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 60-64.  
LING B, LIU Q, WU Y. Advances in the studies of forest litter[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(1): 60-64.

[5] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(4): 346-351.  
LIN B, LIU Q, WU Y, *et al.* Effect of forest litters on soil physical and chemical properties in *Subalpine coniferous* forests of Western Sichuan [J]. Chinese Journal of Applied and Environment Biology, 2003, 9(4): 346-351.

[6] 薛立, 吴敏, 徐燕, 等. 几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 1017-1022.  
XUE L, WU M, XU Y, *et al.* Study of soil nutrient condition and microorganism characteristic of several plantation in south China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(6): 1017-1022.

[7] 李文宣. 森林土壤与有机质氮素供应研究[J]. 林业勘察设计, 2008, 32(1): 107-110.  
LI W X. Study of forest soil and organic supply of nitrogen [J]. Forestry Propect and Design. 2008, 32(1):107-110.

[8] 曹志洪. 解译土壤质量演变规律, 确保土壤资源持续利用[J]. 世界科技研究与发展, 2001, 23(3): 28-32.

CAO Z H. Study on the principles of soil quality changing to promote sustainable use of soil resources [J]. World Science and Technology Study and Development, 2001, 23(3):28-32.

[9] 刘晓冰, 邢宝山, STEPHEN J H. 土壤质量及其评价指标[J]. 农业系统科学与综合究, 2002, 18(2): 109-111.  
LIU X B, XING B S, STEPHEN J H. Soil quality and its assessment indicator [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2002, 18(2):109-111.

[10] 常庆瑞, 岳庆玲, 黄土丘陵区人工林地土壤肥力质量[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2): 71-74.  
CHANG Q R, YUE Q L. Soil fertility quality of artificial forest in the Hilly-gully region of Loess Plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(2):71-74.

[11] 刘勇, 李国雷, 李瑞生, 等. 密度调控对油松人工林土壤肥力的影响[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 18-23.  
LIU Y, LI G L, LI R S, *et al.* Effected of tree density on soil fertility in *Pinus tabulaeformis* plantations [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(6): 18-23.

[12] 董建辉, 钱拴提, 张建昌, 等. 秦岭南坡山茱萸立地调查及分类经营方案研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(4): 56-59.  
DONG J H, QIAN S T, ZHANG J C, *et al.* The investigation of growing conditions of macrocarpum of ficinalison the south slope of Qinling Mountains and its categorizing operation plan [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(4): 56-59.

[13] 赫晓慧, 常庆瑞, 温仲明. 农牧交错带不同人工植被下荒漠化土壤肥力的变化[J]. 中国沙漠, 2006, 26(6): 915-919.  
HE X H, CHANG Q R, WEN Z M. Desertified soil fertility under different artificial vegetations in farming-pasturing interlock zone of northern Shaanxi Province [J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(6):915-919.

[14] 邓仕坚, 张家武, 陈楚莹. 不同树种混交林及其纯林对土壤理化性质影响的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(2): 126-132.  
DENG S J, ZHANG J W, CHEN C Y. Effect of pure and mixed stands on soil physical and chemical properties [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1994, 5(2):126-132.

[15] 高国雄, 李得庆, 贾俊姝. 退耕还林不同配置模式对土壤养分的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 22-31.  
GAO G X, LI D Q, JIA J S. Research on soil fertility of different species arrangement models in converted farmland [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(5):22-31.

[16] 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.  
QU G H, GUO J X. The relationship between different plant communities and soil characteristics in Songnen grassland[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(1):18-22.

[17] 宋会兴, 苏智先, 彭远英. 山地土壤肥力与植物群落次生演替关系研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1531-1533.  
SONG H X, SHU Z X, PENG Y Y. Relationships between soil fertility and secondary succession of plant community in Jinyun Mountain [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(12):1531-1533.

[18] JOAO P D, GLEIN M A, MUNDAYATAN H. Influence of



soil fertility on the distribution of tree species in a deciduous forest in the Triangulo Mineiro region of Brazil[J]. Plant Ecol. , 2007, 191: 253.

[19] KINDU M, TADESS E, YOHANNE S, *et al.* Performance of eight tree species in the highland vertisols of central Ethiopia: growth, foliage dwfnutrient concentration and effect on soil chemical properties[J]. New Forests, 2006, 32: 285-298.

[20] GREGORICH E G, CARTER M R, DORAN J W, *et al.* Biological attributers of soil quality. [A]//GREGORICH E G, CARTER M R. Soil quality for crop production and ecosystem health. Development in Soil Science[C]. The Netherlands; Elsevier, 1997: 81-113.

[21] 武天云, JEFF J S, 李凤民. 土壤有机质概念和分组技术研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 717-722.

WU T Y, JEFF J S, LI F M. Concepts and relative analytical techniques of soil organic matter [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 717-722.

[22] 惠淑荣, 颜翎羽, 胡万良. 不同红松林型下土壤理化性质差异的初步研究[J]. 福建林业科技, 2008, 35(1): 117-119, 175.

HUI S R, YAN L Y, HU W L. Analysis of soil physical and chemical properties in *Pinus koreansis* forestland [J]. Jour. of Fujian Forestry Sci. and Tech. , 2008, 35(1): 117-119, 175.

[23] 刘文飞, 樊后保. 马尾松阔叶树混交林生态系统的氮素循环特征[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(6): 52-58.

LIU W F, PAN H B. Characteristics of nitrogen cycles in the ecosystem of mixed stands of Masson pine and broadleaved forests [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(6): 52-58.

[24] 张静, 常庆瑞. 渭北黄土高原不同林型植被对土壤肥力的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 26-28.

ZHANG J, CHANG Q R. Effects on soil fertility in different types of forest on Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water, 2006, 26(3): 26-28.

[25] 张琪, 方海兰, 黄懿珍. 土壤阳离子交换量在上海城市土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2005, 37(6): 679-682.

ZHANG Q, FANG H L, HUANG Y Z. Application of soil CEC to evaluation of soil quality in Shanghai [J]. Soils, 2005, 37(6): 679-682.

[26] 马海娟, 陈立新. 红松人工林土壤阳离子交换量空间分布及其组成演变[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 71-76.

MA H J, CHEN L X. Spatial distribution and compositional evolution of soil cation exchange capacity in *Pinus koraiensis* plantation [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 10, 6(5): 71-76.

[27] YADAV R S, YADAV B L, CHHIPA B R. Litter dynamics and soil properties under different tree species in a semi-arid region of Rajasthan, India[J]. Agroforest Syst. , 2008, 73: 1-12.