

商洛地区不同林龄油松人工林土壤理化性质研究

张 洋¹, 刘 华², 王得祥¹, 王宇超¹, 吴 昊¹, 张丽楠¹, 黄青平¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西商南金丝峡管委会, 陕西 商南 726300)

摘 要:为探讨林龄对油松人工林土壤理化性质的影响及二者间的关系,在陕西商洛地区设置典型样地,采用野外调查和室内测定分析相结合的方法,比较不同林龄油松人工林样地土壤理化性质的变化特征以及不同理化性质指标之间的相关性。结果表明:有机质、全氮含量及 pH 值在 0—40 cm 土层深度下随林龄的增加逐渐降低,其他理化指标随林龄增加亦表现出一定的规律性;40—60 cm 土层下,全氮含量及 pH 值随林龄的增加也呈现降低趋势,而其它理化指标则未表现出规律性变化。相关性分析结果显示,有机质与全氮以及 pH 之间存在着显著的正相关关系,其中,全氮与 pH 之间相关性达到极显著水平,其他各理化指标之间则无明显的相关性。

关键词:油松; 林龄; 土壤理化性质

中图分类号:S714.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0082-04

Study on Soil Physicochemical Properties along Forest Age of *Pinus tabulaeformis* Plantations

ZHANG Yang¹, LIU Hua², WANG De-xiang¹, WANG Yu-chao¹,

WU Hao¹, ZHANG Li-nan¹, HUANG Qing-ping¹

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Management Committee of Jinsi Grand Canyon, Shangnan, Shaanxi 726300, China)

Abstract: In order to explore the impact of forest ages on the physicochemical characteristics of soil under *pinus tabulaeformis* plantation and compare the variation characteristics of the soil physicochemical characteristics under *pinus tabulaeformis* plantation of different forest age, typical sample zones were set in Shangluo in this study. The combination method of field investigation and laboratory analysis was adopted. The results showed that organic matter, total nitrogen and pH value reduced with the increase of the forest age among the soil depth of 0—20 cm and 20—40 cm. The other physical and chemical parameters also changed, but did not show obvious increase or decrease. Total nitrogen and pH value reduced with the increase of the forest age among the soil depth of 40—60 cm. Correlation analysis showed that there was a positive correlation between organic matter, total nitrogen and pH value, while an extremely significant correlation between total nitrogen and pH value was observed. There was no significantly correlation between the other physical and chemical properties.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; forest age; soil physicochemical properties

油松(*Pinus tabulaeformis*)为常绿乔木,是我国特有种,因其耐干旱、根系发达、抵御不利环境强的特点,在我国的华北、西北广大地区都有分布,成为防风和水土保持林营造的主要树种之一。油松也是我国暖温带湿润半湿润地区地带性植被,在山地植被恢复中占据着极其重要的位置^[1],但是由于其造林密度

偏大、经营管理粗放等原因,油松林分生长衰退和地力退化现象严重^[2-3]。秦岭林区广泛分布着油松天然次生林和人工林^[4],目前有关油松水分生理特征^[5-7]、林分防止侵蚀功能^[3,8-11]和水文生态特征^[12-15]方面的研究报道较多,但是,有关油松人工林土壤养分时空特征的研究还并不多见。本研究以秦岭南坡商洛地

收稿日期:2011-12-07

修回日期:2012-03-03

资助项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(200804022B)

作者简介:张洋(1985—),男,硕士,主要从事森林生态学研究。E-mail:zhangyang315128@163.com

通信作者:王得祥(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事森林生态学和森林可持续经营教学研究。E-mail:wangdx66@126.com

区油松人工林为研究对象,调查和测定不同林龄土壤养分特征的变化规律,旨在揭示油松林在演替过程中养分变化的动态特征,为该地区油松人工林的地力恢复、科学经营和管理提供依据。

1 研究区概况

研究区位于陕西商洛地区,属秦岭南坡,地理位置在东经 $108^{\circ}34'20''$ — $111^{\circ}1'25''$,北纬 $33^{\circ}2'30''$ — $34^{\circ}24'40''$,总面积 $19\,293\text{ km}^2$,地跨长江黄河两大流域^[16],属于暖温带半湿润季风气候,呈现出四季分明,雨热同季,冬干夏湿,干湿分明的气候特征。年平均气温 $7.8\sim 13.9^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 40.8°C ,极端最低气温 -21.6°C 。降水量年均 $710\sim 930\text{ mm}$,日照 $1\,860\sim 2\,130\text{ h}$,无霜期为 210 d 。植被具有从南向北过渡的特征,主要有落叶阔叶混交林、松栎混交林等,人工林有油松林、栓皮栎林、板栗林及药用木本植物等。土壤类型以黄棕壤为主。

2 研究方法

2.1 样地选择

2009年5月至6月于商洛地区商南、洛南、丹凤三县设置立地条件相似的 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 油松人工林样地 12 块,林龄分别为 16, 19, 22, 27, 30, 33 a, 进行群落结构调查以及土壤采集和分析。试验样地概况见表 1。

表 1 试验地概况

样地	林龄/ a	平均树 高/m	平均胸 径/cm	海拔/ m	坡向	坡度/ ($^{\circ}$)	郁闭度
1	16	5.95	9.72	530	NE	29	0.65
2	16	6.11	10.30	600	S	32	0.75
3	19	5.35	9.26	570	W	24	0.75
4	19	4.63	8.81	670	W	33	0.50
5	22	13.7	14.52	765	NW	29	0.60
6	22	7.57	8.74	730	S	24	0.75
7	27	5.11	7.77	684	SW	35	0.55
8	27	7.10	10.12	705	N	45	0.70
9	30	6.01	9.58	640	NE	37	0.80
10	30	7.50	9.40	681	NE	44	0.65
11	33	11.91	10.83	588	N	27	0.70
12	33	10.20	10.15	736	NW	25	0.75

2.2 森林群落结构调查

在每个标准样地内对所有乔木进行每木检尺,测定各株胸径、树高、枝下高、冠幅和群落郁闭度等林分特征,对林下植被做生物学调查。记录样方内灌木和草本的物种组成、数量、盖度、高度和地径。

2.3 土壤样品采集与测定

在每个样地进行每木检尺的基础上找出标准木,并在标准木下挖掘采样的土壤剖面。每个样地选取 3 个剖面,由上向下分 3 个层次 ($0\sim 20\text{ cm}$, $20\sim 40\text{ cm}$, $40\sim 60\text{ cm}$) 取样,取完土样依次回填。将取回的土样在自然条件下阴干,除去石块、根系和土壤动物等杂物后磨碎,然后分别过筛,用于土壤养分的测定。

按常规方法测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效氮、速效钾含量^[17]以及 pH 值。有机质采用重铬酸钾容量法测定;全氮采用硫酸消解—流动注射测定;全磷采用硫酸消解—流动注射分析仪测定;全钾采用硫酸消解—火焰光度计测定;速效氮采用 1 mol 氯化钾浸提流动注射分析仪测定;速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠—722 分光光度计测定;速效钾采用 1 mol 乙酸氨浸提—火焰光度计法测定;pH 值用梅特勒 pH 计测定。

2.4 数据处理方法

运用 SPSS 17.0 软件对不同林龄油松人工林土壤理化性质进行单因素方差分析;用 Correlate 的 Bi-variate 分析各理化性质指标间的相关性。

3 结果与分析

3.1 土壤理化性质与林龄的关系

森林土壤是森林生态系统的重要组成部分,是森林生态过程的物质基础^[18-19],其理化性质是表征土壤肥力的重要指标,对森林生产力具有重要影响。

3.1.1 $0\sim 20\text{ cm}$ 土壤理化性质变化规律 由表 2 可知,16, 19, 22, 27, 30, 33 a 生油松人工林 $0\sim 20\text{ cm}$ 土壤有机质、全氮的平均含量以及 pH 值均呈逐渐递减趋势,而全钾、速效氮、速效磷、速效钾的平均含量则表现出一定的波动。其中,有机质和全氮含量的变化较为明显,33 a 生林分较 16 a 生分别减少了 28.62%和 30.77%,土壤 pH 值则变化轻微,只减小了 13.89%。

由方差分析可知,有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾的含量以及 pH 值 (p 值均小于 0.01) 随林龄均有显著性差异。经回归分析和统计学检验,除全钾含量与林龄不相关外 ($p>0.05$),其他各指标均与林龄显著相关。

3.1.2 $20\sim 40\text{ cm}$ 土壤理化性质变化规律 由表 2 可知,16, 19, 22, 27, 30, 33 a 生油松人工林 $20\sim 40\text{ cm}$ 土壤有机质、全氮和 pH 值随林龄逐渐减少,三个指标 33 a 生林分分别较 16 a 生减少了 20.20%, 46.99% 和 12.45%,其他各指标则表现出一定的波动。经方差分析,除速效钾 ($p=0.045$) 随林龄未达到极显著

的差异外,其他各指标均达到极显著的差异,速效钾含量与林龄相关性不显著($p>0.05$)。

3.1.3 40—60 cm 土壤理化性质变化规律 由表 2 可知,16,19,22,27,30,33 a 生油松人工林 40—60 cm 土壤各指标均未呈现明显变化规律,方差分析结

果显示,除全钾(p 值为 0.098)外,速效氮、速效钾随林龄呈现显著差异,其余各指标达到极显著水平。但经回归分析和统计学检验,只有全氮、速效氮和 pH 与林龄显著相关,其余各指标与林龄相关性不显著($p>0.05$)。

表 2 0—60 cm 土壤理化性质

林龄/ a	土层/ cm	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全钾/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH
16	0—20	28.27±0.99	1.04±0.03	0.26±0.01	16.38±0.60	22.59±0.99	7.90±0.29	64.57±1.46	6.84±0.03
16	20—40	16.73±0.24	0.83±0.03	0.16±0.01	13.57±0.63	16.78±0.64	4.95±0.21	55.95±3.85	6.91±0.06
16	40—60	9.36±0.38	0.52±0.07	0.25±0.01	14.75±0.79	10.70±1.04	7.34±0.31	59.59±3.44	7.01±0.02
19	0—20	25.87±0.37	0.99±0.01	0.54±0.02	18.82±0.18	18.30±0.19	13.25±0.36	65.10±0.61	6.73±0.02
19	20—40	14.41±0.38	0.81±0.05	0.47±0.02	17.67±0.20	13.89±0.87	8.64±0.24	53.96±0.77	6.84±0.03
19	40—60	8.09±1.32	0.51±0.01	0.55±0.01	17.58±1.21	10.15±0.63	9.97±0.46	59.64±0.68	6.95±0.03
22	0—20	24.15±0.29	0.94±0.01	0.40±0.03	15.43±0.15	15.47±0.41	10.49±0.31	84.88±0.76	6.71±0.05
22	20—40	14.12±0.14	0.63±0.02	0.31±0.04	14.24±0.20	11.69±0.92	8.21±0.18	53.76±3.57	6.80±0.03
22	40—60	8.35±0.29	0.38±0.02	0.33±0.05	16.34±0.14	7.62±0.26	8.82±0.31	57.28±3.80	7.01±0.02
27	0—20	22.85±0.35	0.85±0.02	0.62±0.06	15.45±0.23	19.70±0.87	7.19±0.36	88.16±1.10	6.52±0.03
27	20—40	13.76±0.25	0.58±0.07	0.45±0.03	13.96±0.10	13.69±0.10	5.21±0.42	59.71±0.82	6.65±0.05
27	40—60	8.83±0.19	0.41±0.07	0.53±0.04	14.80±0.49	8.64±0.27	5.85±0.12	65.53±0.99	6.81±0.05
30	0—20	21.03±0.35	0.79±0.02	0.60±0.02	17.33±0.18	17.52±0.60	6.62±0.08	76.73±1.77	6.29±0.02
30	20—40	13.36±0.94	0.53±0.02	0.43±0.03	14.22±0.76	13.28±0.25	4.88±0.19	50.18±0.98	6.44±0.05
30	40—60	9.52±0.24	0.33±0.05	0.51±0.04a	15.28±0.93	8.12±0.69	5.97±0.15	54.98±0.94	6.60±0.07
33	0—20	20.18±0.57	0.72±0.03	0.54±0.06	15.85±0.24	21.47±1.05	6.98±0.25	74.81±0.74	5.89±0.01
33	20—40	10.35±1.76	0.44±0.03	0.43±0.03	14.60±0.32	15.41±0.75	6.13±0.38	49.93±1.14	6.05±0.06
33	40—60	7.67±1.06	0.33±0.02	0.57±0.02	15.69±0.34	8.70±0.45	6.69±0.53	54.03±1.35	6.69±0.04

注:数据为平均值±为标准误差。

3.2 土壤各理化性质之间的相关性分析

土壤是植物群落的主要环境因子之一,其理化性质影响着植被发生、发育和演替的速度,同时也会随着植被的演替而发生变化。土壤的酸碱度及有机质含量直接或间接影响着土壤各种营养元素的有

效性。由表 3 可知,有机质与全氮以及 pH 之间存在着显著(0.05 水平)正相关关系,全氮与 pH 之间相关性则达到极显著(0.01 水平)。其他各指标之间无明显的相关性。

表 3 土壤养分与 pH 值之间的相关性

土壤性质	有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾	pH 值
有机质	1.000							
全氮	0.917*	1.000						
全磷	-0.416	-0.583	1.000					
全钾	0.063	0.356	0.345	1.000				
速效氮	0.482	0.311	-0.297	-0.122	1.000			
速效磷	0.264	0.540	-0.061	0.780	-0.301	1.000		
速效钾	0.300	0.433	-0.129	-0.245	-0.047	0.022	1.000	
pH 值	0.817*	0.918**	-0.608	0.188	-0.009	0.536	0.620	1.000

注:* 0.05 水平显著;** 0.01 水平显著。

4 结论与讨论

林地生产主要靠土壤自然肥力,一方面土壤为林木生长提供养分,另一方面林木生长发育过程中通过

凋落物和根系分泌物等的作用,对林地土壤肥力产生明显的作用^[20]。由研究结果可知,随林龄的增加,油松人工林土壤有机质、全氮含量及 pH 值在 0—40 cm 土层深度下呈现逐渐降低趋势,40—60 cm 土层深度

下,全氮含量及 pH 值也呈现减小趋势。原因可能是表层为土壤动物和微生物种群数量最多、植物根系密度最大的一层,土层越深,微环境越差,越不利于土壤动物、微生物生存及植物根系的生长,因此从表层到深层,有机养分产生量逐渐减少,生物固氮作用减弱和生物残体减少,致使土壤有机质、氮素含量减少。

随着林龄的增加,有机质、全氮等营养元素的含量逐渐减少,这与李国雷等^[1]以及展军礼等^[21]的研究结果一致。从油松生活周期来看,16,19,22 a 生的油松人工林还基本上处于幼龄林阶段,林分前一段的发育是由单株向郁闭方向发展,个体间竞争较为平缓,林分对土壤肥力要求较低。而 27,30,33 a 生油松土壤养分降低的最直接原因可能有两个:其一是 27,30,33 a 生油松造林密度较幼龄林大,养分竞争激烈,经过近 30 a 的生长发育,对土壤肥力消耗过大导致土壤质量下降;其次,油松中龄林、近熟林的针叶中与分解速率密切相关的木质素/N 或 C/N 增大,导致凋落物分解速度缓慢,养分循环过程漫长,养分的补给速度慢于植物吸收的速度,从而最终导致营养元素含量的降低。pH 值随林龄的增加呈现逐渐减小的趋势,这可能是由于林地内物种过于单一,针叶树种比例太大,土壤表层的枯枝落叶以针叶为主,这些凋落物在长期的分解过程当中产生大量单宁、有机酸等酸性物质,降低了土壤的 pH 值,这一变化趋势与李国雷等^[1]、耿曾超等^[22]的研究结果一致。但李国雷、耿增超等的研究结果并未出现土壤酸化,这可能有两方面的原因:首先,研究区所处的地理环境不同,土壤质地本身存在差异,加上气候条件的不同造成土壤表层微生物活动的差异,而最终导致 pH 值的变化趋势不同;其次,人工林不同的经营措施和人为干扰也会造成土壤 pH 值的差异。

土壤养分之间的相关关系对于分析土壤肥力有重要的意义,可作为土壤肥力观测和评价指标,同时对指导森林的合理经营具有重要作用。对油松人工林土壤养分指标之间相关分析结果表明,有机质、全氮、pH 值之间均有不同程度的相关性。这与刘世全等^[23]、张振国等^[24]的分析研究结果较为一致。土壤有机质是土壤中各种营养元素特别是氮的重要来源,表层凋落物以及动物残体的分解会在一定程度上增加 N 的水平,因此,有机质与全 N 表现出显著的正相关性。酸碱度的大小影响土壤表层微生物酶的活性,进而影响到其对土壤表层凋落物和动物残体的分解,因此,有机质、全氮均表现出与 pH 值的显著相关性。

本文按照传统习惯将林分按年龄分组进行讨论,发现不同林龄油松人工林之间土壤的理化性质存在

显著性差异,并呈现出不同变化规律。这为我们今后对油松人工林近自然经营与改造提供了理论基础与技术支撑。但是,林龄对土壤理化性质的影响是一个极其复杂的过程,本文只是从宏观尺度认识它们之间的变化规律,还未涉及它们之间的深入关系,如林龄是怎样造成土壤微生物活动和枯枝落叶分解的不同,从而进一步造成土壤肥力不同。关于这些问题,还需要广大科研工作者继续深入探讨。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陈立新,陈祥伟,段文标. 落叶松人工林凋落物与土壤肥力变化的研究[J]. 应用生态学报,1998,9(6):581-586.
- [3] 吴钦孝,赵鸿雁,汪有科,黄土高原油松林地产生流砂及其过程研究[J]. 生态学报,1998,18(2):151-157.
- [4] 景丽,朱志红,王孝安,等. 秦岭油松人工林与次生林群落特征比较[J]. 浙江林学院学报,2008,25(6):711-717.
- [5] 董学军,陈仲新,陈锦正. 毛乌素沙地油松的水分关系参数随不同土壤基质的变化[J]. 植物生态学报,1999,23(5):385-392.
- [6] 李国强,杨劼,内蒙古皇甫川流域油松蒸腾特点分析[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,2001,32(3):301-305.
- [7] 翟洪波,李吉月,聂力水. 油松的水力结构特征[J]. 林业科学,2003,39(2):14-20.
- [8] 高甲荣,肖斌,桥山林区油松人工林营养元素分配与积累的研究[J]. 应用生态学报,2001,12(5):667-671.
- [9] 王克勤,王斌瑞. 集水造林防止人工植被土壤干化的初步研究[J]. 林业科学,1998,34(4):14-21.
- [10] 赵鸿雁,吴钦孝,刘国彬. 黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J]. 林业科学,2003,39(1):168-172.
- [11] 郑景明,罗菊春,曾德慧. 森林生态系统管理的研究进展[J]. 北京林业大学学报,2002,24(3):103-109.
- [12] Asdak C, Jarvis P G, Gardingen P V. Evaporation of intercepted precipitation based on an energy balance in unlogged and logged forest areas of central Kalamanta, Indonesia[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1998,92(3):173-180.
- [13] Beschta R L. Forest hydrology in the Pacific Northwest: additional research needs[J]. Journal of the American Water Resources Association,1998,34(4):729-741.
- [14] 刘世海,余新晓,于志民. 密云水库集水区人工油松林水源保护林降水化学性质研究[J]. 应用生态学报,2001,12(5):697-700.
- [15] 潘成忠,上官周平. 黄土区次降雨条件下林地径流和侵蚀产沙形成机制:以人工油松林和次生山杨林为例[J]. 应用生态学报,2005,16(9):1597-1602.

(下转第 89 页)

和-54%。

(2)不同利用处理均可收获经济产品,经济效益纤维用处理最大为32 040.8元/hm²、不利用处理为7 466.9元/hm²、饲料用处理为15 489.6元/hm²、玉米处理为19 748元/hm²。

4 讨论

本试验只测定了一年的降雨与水土流失数据,且各处理有明显水土流失的降雨有六次,主要集中在5—10月,纤维用小区土壤流失量2 295 t/(km²·a),而大竹县乌木滩水保观测点和遂宁水土保持站测定,种植2 a以上的苕麻,无论缓坡和陡坡,年土壤侵蚀强度小于19 t/(km²·a)^[7,14],主要是试验当年降雨量和降雨强度都较大造成的,且小区是新建的,土壤人为扰动比较大^[15],导致第一年水土流失量比较大。苕麻饲料用处理,由于其频繁的收获,径流量和泥沙量大于对照种植玉米小区(CK),但从整个植物生长的时期看,一年中苕麻饲料用处理全生育期有9个月,玉米小区全生育期仅四个月,而饲料用处理水土保持效果比玉米小区还差。造成这个结果的原因可能是,南方降雨主要集中在4—9月,而且易发生强降雨^[15],本试验中产流过程集中在5—8月,这个阶段玉米生长较快,小区覆盖度比饲料用小区大,且前五次降雨量和降雨强度都较大,导致了饲料用处理水土流失严重。

参考文献:

- [1] 甄宝艳,张卫平,邓春芳,等.桃林口水库不同径流小区水土流失规律研究[J].南水北调与水利科技,2010,8(2):57-60.

- [2] 王昭艳,左长清,杨洁,等.第四纪红壤侵蚀区优良水土保持草本植物的选择与评价[J].草业科学,2008,25(5):87-91.
- [3] 梁音,张斌.南方红壤区水土流失动态演变趋势分析[J].土壤,2009,41(4):534-539.
- [4] 文亦芾,艾有群.南方红壤磷素化学研究进展和展望[J].云南农业大学学报,2005,20(4):532-538.
- [5] 胡建忠,李蓉,夏静芳,等.振兴苕麻产业—加快南方坡耕地水土流失治理步伐[J].中国水土保持科学,2008,6(6):67-69.
- [6] 于泳,林洪.我国红壤侵蚀研究进展[J].亚热带水土保持,2009,21(3):34-38.
- [7] 李蓉,土小宁.以苕麻资源开发为突破口加速南方坡耕地水土流失治理[J].国际沙棘研究与开发,2010,8(1):21-26.
- [8] 喻春明.苕麻作为牲畜饲料的利用价值及潜力[J].中国麻业,2001(23):23-26.
- [9] 揭雨成,康万利,邢虎成,等.苕麻饲用资源筛选[J].草业科学,2009,16(5):84-89.
- [10] 中华人民共和国水利电力部标准.水土保持试验规范[S].北京:水利电力出版社,1987.
- [11] 程冬兵,左长清,蔡崇法.不同下垫面每次降雨水土流失特征及影响因素分析[J].草业科学,2009,9(29):30-33.
- [12] 杨一松,王兆骞,陈欣,等.南方红壤坡地不同利用模式的水土保持及生态效益研究[J].水土保持学报,2004,18(5):84-87.
- [13] 刘素军.禾本科牧草水土保持作用的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2004.
- [14] 胡建忠,李蓉,夏静芳,等.振兴苕麻产业—加快南方坡耕地水土流失治理步伐[J].中国水土保持科学,2008,6(6):67-69.
- [15] 谢颂华,曾建玲,杨洁.南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J].农业工程学报,2010,26(9):81-86.

(上接第85页)

- [16] 向琼.商洛地区几种中草药田昆虫群落结构动态研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [17] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [18] 胡小飞,陈伏生,葛刚,等.森林采伐对林地表层土壤主要特征及其生态过程的影响[J].土壤通报,2007,38(6):1213-1218.
- [19] 谷会岩,金靖博,陈祥伟,等.采伐干扰对大兴安岭北坡兴安落叶松林土壤化学性质的影响[J].土壤通报,2009,40(2):272-275.
- [20] 温远光.大河山中山植被恢复过程植物物种多样性的

- 变化[J].植物生态学报,1998,22(1):33-40.
- [21] 展军礼,窦春蕊,油松人工林对土壤特性影响的初步研究[J].植树造林,2007(9):48-49.
- [22] 耿增超,张社奇,王国栋,等.黄土高原油松人工林地突然养分及化学性质的时空效应[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(8):98-104.
- [23] 刘世全,高丽丽,蒲玉琳,等.西藏土壤磷素和钾素养分状况及影响因素[J].水土保持学报,2005,19(1):75-78.
- [24] 张振国,黄建成,焦菊英,等.黄土丘陵沟壑区退耕地人工柠条林土壤养分特征及其空间变异[J].水土保持通报,2007,27(5):114-120.