

# 东北过伐林区不同林分类型土壤肥力质量评价研究

杨晓娟, 王海燕\*, 刘玲, 李旭, 任丽娜

教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

**摘要:**保持和提高森林土壤肥力质量是实现森林健康的基础。研究不同林型下土壤肥力质量对森林可持续经营具有重要意义。以东北过伐林区金仓林场中的落叶松*Larix gmelinii*人工纯林、云杉*Picea asperata*×紫椴*Tilia amurensis*天然混交林、紫椴×白桦*Betula platyphylla*天然混交林、五角槭*Acer mono*×白桦×落叶松天然混交林、五角槭×白桦×紫椴天然混交林、白桦×落叶松天然混交林和五角槭×紫椴×青杨*Populus pseudo-simonii*天然混交林为研究对象,分析和比较了不同林分下的土壤物理和化学性质,并采用主成分分析与聚类分析相结合的方法评价了其土壤肥力质量。结果表明:①林分类型对土壤理化性质影响显著;随土壤深度增加,土壤密度和土壤pH值增大,而土壤含水量、物理性粘粒含量和养分质量分数减少,但其在不同林分下的变化程度不同;②土壤因子之间关系密切,物理性粘粒含量与含水量、全氮、速效钾质量分数呈极显著正相关,而与土壤密度和pH值呈显著负相关;土壤养分质量分数之间具有不同程度的显著正相关关系;③采用主成分分析法对不同林分下0~60 cm的土壤肥力质量进行了评价,土壤肥力质量表现为天然混交林高于落叶松人工纯林;采伐降低了土壤的肥力质量;在落叶松人工纯林中,随着林龄的增加,土壤的肥力质量下降。通过对土壤肥力质量综合指标值的聚类分析,将研究区土壤肥力质量分为优、良、中、差4个等级,肥力质量属于中等以上(优、良、中等)的林地所占研究样地的比例为66.7%,研究区森林土壤肥力质量属于中等水平。建议在经营过伐林时,注意调整林分结构和树种组成,控制采伐强度,同时进行长期定位观测和比较,以改善林分整体的肥力状况。本研究结果为该地区林业可持续经营提供直接依据,也为东北地区森林土壤肥力质量评价提供参考。

**关键词:**过伐林;森林土壤;土壤肥力质量评价;主成分分析;聚类分析

**中图分类号:** S714.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2012) 09-1553-08

**引用格式:** 杨晓娟,王海燕,刘玲,李旭,任丽娜.东北过伐林区不同林分类型土壤肥力质量评价研究[J].生态环境学报,2012,21(9):1553-1560.

YANG Xiaojuan, WANG Haiyan, LIU Ling, LI Xu, REN Lina. Evaluation of soil fertility quality under different forest stands in over-logged forest region, northeast China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(9): 1553-1560.

随着土壤学的发展和世界范围内各种生态环境问题的突出,人们渐渐认识到土壤在森林生态系统中的多种作用。在森林生态系统中,森林土壤是维持林木健康生长的基质,其肥力质量影响着林木的健康状态。土壤肥力是土壤的基本属性和本质特征的反映,是土壤从营养条件与环境条件方面供应与协调植物生长的能力,表现为直接为植物生长提供必需的物质养分与机械支撑<sup>[1]</sup>。土壤理化性质是评价土壤肥力质量的重要指标<sup>[2]</sup>,国内外研究表明,不同森林植被中土壤理化性状差异较大<sup>[3-6]</sup>,因此,对不同林分类型土壤肥力特征的了解,可及时为森林健康经营提供依据。

针对东北地区的森林土壤,不少学者从各种不同的角度做了研究,主要集中在土壤水分、土壤有机碳和土壤动物等方面<sup>[7-10]</sup>,就肥力质量评价方面,针对针叶林下的土壤研究较多<sup>[11-13]</sup>,但对过伐林区

不同林分类型的土壤肥力质量评价研究还少有报道。本研究以东北过伐林区3种不同林分类型下的土壤为研究对象,分析各种林分下土壤理化性质的总体特征,采用主成分分析和聚类分析相结合的方法进行土壤肥力质量评价,以期对东北过伐林区森林可持续经营提供重要理论依据。

## 1 研究区概况

研究区位于吉林省汪清林业局金仓林场(130°26'~130°37' E, 43°19'~43°23' N),属于长白山系的中低丘陵区,区内的地形中部高、四周低,平均海拔为806 m。该区域地处北温带季风区,属大陆性季风气候。年平均温度3.9℃,日照时间每年2351 h,无霜期一般110~130 d。降水很丰富,年平均降水量547 mm,其中60%~70%集中在6-9月份。该地区的土壤分布以针叶林灰棕壤和灰棕壤为主,其次为灰化土,土壤垂直变化明显。林分类

**基金项目:** 国家林业局公益性行业科研项目(20100400201); 973 计划项目(2011CB403201); 北京市教育委员会共建专项项目

**作者简介:** 杨晓娟(1987年生),女(壮族),硕士研究生,研究方向:土壤学、植物营养学。E-mail:tongda1984@126.com

\*通信作者: 王海燕(1972年生),女,副教授,博士,研究方向:土壤学、植物营养学。E-mail: haiyanwang72@yahoo.com.cn

**收稿日期:** 2012-07-07

型主要包括落叶松人工林、落叶松天然林、针阔混交林、阔叶混交林,乔木主要的树种有:兴安落叶松 *Larix gmelinii*、红松(*Pinus koraiensis*)、白桦 *Betula platyphylla*、五角槭 *Acer mono*、紫椴 *Tilia amurensis*、水曲柳 *Fraxinus mandshurica*、蒙古栎 *Querus mongolica* 等。

## 2 材料与方法

### 2.1 样地调查

在了解金仓林场的基本情况下,2011年8月在该研究区选取了9块有代表性的、面积为0.025 hm<sup>2</sup>的圆形样地,包括3块落叶松人工纯林、3块天然针阔混交林和3块天然阔叶混交林,根据坡度、坡向、土层厚度等相似的原则实现立地条件的相近。其中,1、4、8、9号样地均在2010年有抚育主伐。样地调查因子包括:林分年龄、株数密度、平均胸径、平均树高、郁闭度、灌木盖度、草本盖度和海拔。样地基本概况见表1。

### 2.2 土壤样品的采集和处理

样地的土壤类型为灰棕壤。在各样地内,以“S”形路线,选取5~7个采样点,用土钻分别取0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm的土壤,最后将各点的0~20 cm土壤放在塑料薄膜上混匀,四分法取约1 kg待测土样,装入布袋,贴上标签,即为样地内0~20 cm的混合土样,20~40 cm和40~60 cm混合土样采集方法同上。

环刀取样:在圆形样地的中心挖取土壤剖面,并将土壤剖面分为0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm 3层,用环刀分别取各层中间位置的土样,以测定土壤密度和自然含水量。

混合土样经风干、去除杂质后,磨细过2 mm、1 mm和0.25 mm的土壤筛,用于测定土壤基本理化性质。

### 2.3 土壤样品基本理化性质测定

环刀取样测定土壤密度及自然含水量;土壤质地:比重计法;土壤 pH 值:酸度计法(水土比为2.5:1);土壤有机质:外加热重铬酸钾氧化—容量

法;土壤全氮:硫酸—高氯酸消煮—凯氏定氮仪法;土壤全磷:硫酸—高氯酸消煮—钼锑抗比色法;土壤有效磷:氟化铵-盐酸—钼锑抗比色法;土壤速效钾:中性乙酸铵浸提—火焰光度计法<sup>[14]</sup>。

### 2.4 数据处理

应用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 软件对所获得数据进行单因素方差分析、相关性分析、主成分分析以及聚类分析<sup>[15]</sup>。

### 2.5 森林土壤肥力质量评价体系构建

森林土壤肥力质量评价应由土壤肥力指标来确定,评价指标的选定是土壤肥力质量评价的核心工作,直接关系到其评价结果的客观性。森林土壤具有枯枝落叶层、腐殖质含量高、淋溶作用强等特性,因此森林土壤肥力质量指标的选取需要根据这些特性遵循一定的原则,包括主导性、敏感性、实用性和独立性原则<sup>[16]</sup>。有许多土壤特性可以作为土壤肥力质量评价指标,选取的评价指标之间具有一定的相关性,并且指标间存在较多重复信息,所以为了减少变量之间存在的多重共线性而引起的极大误差<sup>[17]</sup>,本文采用主成分分析法从土壤密度、物理性粘粒含量、土壤质量含水量、pH值、有机质、全氮、全磷、有效磷和速效钾9个指标中提取少数几个综合指标,而这几个综合指标可以反映原来多个指标的大部分信息,并用其进行土壤肥力质量评价。同时,通过聚类分析,对主成分分析得出的综合得分进行聚类,得出各样地的肥力质量水平。

## 3 结果与分析

为了认识研究区土壤物理性粘粒含量、土壤密度、含水量、有机质、pH值、全氮、磷、钾质量分数及有效磷、速效钾质量分数的整体状况,对各样地0~60 cm土层的各指标平均值做简单的描述性统计分析,结果见表2。根据描述性统计结果可知,该研究区内土壤物理性粘粒的平均含量为34.04%,土壤密度平均值为1.44 g·cm<sup>-3</sup>,平均含水量为12.45%,pH平均值为5.51,有机质的平均质量分数为24.92 g·kg<sup>-1</sup>,全氮平均质量分数为0.95

表1 样地基本概况

Table 1 Characteristics of experimental plots

样地	林分类型	林分年龄	株数密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	平均胸径/ cm	平均树高/ m	郁闭度	灌木盖度/ %	草本盖度/ %	海拔/ m
1	云杉×紫椴	28.3	1320	13.86	14.54	0.85	100	80	897
2	五角槭×白桦×落叶松	35.0	1680	12.16	10.53	0.90	70	90	738
3	白桦×落叶松	38.0	520	21.65	19.17	0.80	70	90	729
4	紫椴×白桦	38.7	1120	15.04	10.87	0.72	40	90	817
5	五角槭×白桦×紫椴	35.3	2040	11.30	12.65	0.95	30	90	799
6	五角槭×紫椴×青杨	27.0	1200	11.04	11.53	0.85	20	80	753
7	落叶松	19.0	2280	9.15	9.16	0.95	10	50	604
8	落叶松	38.3	560	19.56	20.81	0.60	20	90	736
9	落叶松	47.0	400	20.72	18.00	0.55	40	95	704

表2 土壤理化性质描述性统计分析结果  
Table 2 Descriptive statistics of soil physico-chemical properties

指标	极小值	极大值	均值	标准误	标准差	变异系数/%
物理性粘粒 (<0.01 mm) /%	16.07	48.75	34.04	1.83	9.51	26.88
土壤密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.99	1.89	1.44	0.04	0.21	14.58
含水量/%	4.09	35.26	12.45	1.30	6.75	54.22
w(有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	3.03	70.32	24.92	3.71	19.26	77.29
w(全氮)/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.16	2.64	0.95	0.14	0.72	75.79
w(全磷)/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.03	0.86	0.32	0.04	0.23	71.86
pH值	4.97	6.12	5.51	0.06	0.29	5.26
w(速效钾)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	40.00	160.00	88.15	6.92	35.95	40.78
w(有效磷)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	4.13	37.28	14.81	1.96	10.19	68.80

g·kg<sup>-1</sup>，全磷的平均质量分数为0.32 g·kg<sup>-1</sup>，有效磷的平均质量分数为14.81 mg·kg<sup>-1</sup>，速效钾的平均质量分数为88.15 mg·kg<sup>-1</sup>；根据变异系数来看，整个研究区的土壤有机质，全氮、磷质量分数，有效磷质量分数变异系数较大，这可能主要跟样地的植被类型、经营方式和养分的层次性有关；而pH值变异系数最小，比较稳定，从平均值来看，该地区属于酸性土壤。

### 3.1 土壤物理性质特征

对各层土壤的颗粒组成分析结果见表3。小于0.001 mm和0.001~0.005 mm两个粒级的颗粒含量随着土层的加深而减小，其他粒级的颗粒含量随土层

的加深无明显变化规律。根据卡庆斯基土壤质地分类标准<sup>[18]</sup>，各种林分下土壤质地基本以中壤土和轻壤土为主。由于不同树种具有其特有的生物、生态特性，不同林分类型对土壤质地也会有不同的影响。从物理性粘粒含量来看，1、3、5、6号样地含量较高，接近中壤土的标准，有变粘的趋势，其中1号样地和3号样地均为针阔混交林，5号和6号均为阔叶混交林，这变化趋势可能和地上植被有一定的关系，但土壤单粒是相对稳定的颗粒，土壤变粘的过程还需要长期观察研究。

土壤密度是土壤紧实度的敏感性指标，是表征土壤质量的一个重要参数，对土壤的透气性、入渗

表3 不同林分下土壤物理性质  
Table 3 Soil physical properties in different stands

样地	土壤深度/cm	不同粒径颗粒组成/%							物理性粘粒 /%	土壤质地 类型	土壤密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	含水量 /%
		<0.001 mm	0.001~0.005 mm	0.005~0.01 mm	0.01~0.05 mm	0.05~0.25 mm	0.25~0.5 mm	0.5~1 mm				
1	0~20	20.01	17.19	11.55	25.91	15.62	5.60	4.12	48.75	重壤土	0.99	35.26
	20~40	16.93	15.56	11.90	27.46	19.06	3.60	5.50	44.39	中壤土	1.32	17.16
	40~60	14.88	15.59	14.17	27.86	15.08	5.24	7.18	44.63	中壤土	1.40	21.27
2	0~20	17.02	10.61	9.28	19.45	32.01	6.22	5.42	36.91	轻壤土	1.21	12.62
	20~40	14.32	12.83	7.48	18.38	32.31	8.48	6.20	34.63	轻壤土	1.33	8.29
	40~60	14.20	12.48	5.38	24.52	27.26	10.52	5.64	32.05	轻壤土	1.54	8.92
3	0~20	30.11	5.39	8.31	11.68	31.23	4.94	8.34	43.81	中壤土	1.57	14.44
	20~40	24.64	10.73	6.16	14.60	30.28	5.60	7.98	41.53	中壤土	1.71	16.10
	40~60	22.31	8.17	8.17	20.10	28.44	8.74	4.06	38.66	中壤土	1.89	11.98
4	0~20	14.14	6.63	8.40	15.25	37.96	9.46	8.16	29.17	轻壤土	1.38	12.57
	20~40	11.94	9.69	5.41	16.45	33.56	12.20	10.74	27.04	轻壤土	1.44	15.20
	40~60	7.82	4.78	3.47	9.34	37.15	19.18	18.26	16.07	砂壤土	1.49	10.16
5	0~20	15.44	21.05	7.95	29.47	13.64	6.04	6.40	44.44	中壤土	1.20	20.77
	20~40	17.97	14.10	12.05	27.98	19.50	3.88	4.52	44.12	中壤土	1.35	16.40
	40~60	16.38	12.79	10.99	19.29	28.01	6.12	6.42	40.16	中壤土	1.36	14.57
6	0~20	18.47	15.24	10.39	17.77	23.22	5.52	9.40	44.09	中壤土	1.08	18.88
	20~40	18.72	11.81	12.03	22.51	25.11	4.98	4.84	42.56	中壤土	1.21	13.85
	40~60	10.72	12.91	12.48	22.98	27.41	8.00	5.50	36.11	中壤土	1.40	11.24
7	0~20	15.53	10.00	6.17	14.46	27.92	10.58	15.34	31.69	中壤土	1.57	7.37
	20~40	13.58	11.03	6.58	14.00	23.18	12.56	19.06	31.19	中壤土	1.61	7.13
	40~60	11.61	8.50	7.05	25.30	20.55	8.46	18.52	27.17	轻壤土	1.52	4.38
8	0~20	13.41	5.62	0.43	9.95	40.17	17.12	13.30	19.46	砂壤土	1.45	6.72
	20~40	14.82	1.74	2.83	7.63	45.55	14.28	13.14	19.40	砂壤土	1.55	6.87
	40~60	12.19	3.92	0.65	7.62	44.89	16.46	14.28	16.76	砂壤土	1.70	4.09
9	0~20	13.59	5.18	11.43	8.63	32.57	11.48	17.12	30.20	中壤土	1.29	9.53
	20~40	12.80	9.44	6.92	17.41	23.53	12.54	17.36	29.16	轻壤土	1.55	5.67
	40~60	11.65	5.41	7.91	20.39	17.67	15.76	21.20	24.97	轻壤土	1.81	4.62

性能和持水能力均有极大的影响。从表3可以看出,土壤密度随着土壤深度的增加而变大。相对而言,落叶松人工纯林的土壤密度较大,土壤也相对板结和紧实。

土壤质量含水量作为森林土壤水分物理性质指标,能够反映林地土壤的水分特性。土壤含水量一般都随着土壤深度的增加而减少,这与土壤质地、土壤密度及地上植被状况有一定的关系。

### 3.2 土壤化学性质特征

描述性统计分析表明土壤pH值的变异系数最小,但由于它影响着养分元素的有效性,因此及时了解不同林分土壤pH值的变化,对分析土壤养分变化具有重要的意义。除了8号样地落叶松人工纯林以外,其他样地的pH值都随着土壤深度的增加而增大(见表4)。森林土壤养分状况反映了森林对土壤的影响结果,又是衡量土壤肥力质量的主要因素。随着土壤深度增加,9块样地的土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、速效钾质量分数均有不同程度的降低,这说明土壤养分具有明显的随土壤深度递减的趋势,符合土壤养分具有表聚性的特征。这种现象主要是因为森林土壤表层有很多枯落物,其分解可以释放大量的养分元素,而且森林土壤表层

的有机质大多来源于枯落物的分解。

### 3.3 土壤肥力质量评价

#### 3.3.1 土壤肥力质量评价因子相关性分析

对0~60 cm的土壤肥力质量评价因子进行相关性分析(见表5),结果表明土壤因子之间有着密切关系。土壤物理性粘粒质量分数与含水量、全氮、速效钾质量分数呈显著正相关,而与土壤密度、pH值呈显著负相关;土壤密度与土壤含水量呈显著负相关;土壤含水量与pH值呈显著负相关。土壤有机质质量分数分别与全氮、速效钾质量分数呈极显著正相关,与全磷质量分数呈显著正相关,即有机质质量分数越高,土壤的全氮、全磷、有效磷、速效钾质量分数也越高;土壤中各种养分的质量分数是有相关性的,单一养分质量分数的减少,也会影响土壤中其他养分的供应。不同林分土壤的物理、化学因子之间存在着显著相关关系,可用来综合反映土壤肥力水平。

#### 3.3.2 土壤肥力质量评价因子主成分分析

由于土壤肥力质量评价因子之间的相关性很强,可利用降维的思想把多个因子转化成较少的几个互不相关的综合因子,即对土壤肥力质量评价因子进行主成分分析。主成分分析能够降低观测空间

表4 不同林分下土壤化学性质

Table 4 Soil chemical properties in different stands

样地	土壤深度/cm	pH 值	w(有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(全氮)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(全磷)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(有效磷)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾)/(mg·kg <sup>-1</sup> )
1	0~20	4.97	29.43	0.98	0.48	7.93	90
	20~40	5.14	11.75	0.61	0.33	6.28	40
	40~60	5.15	10.75	0.36	0.27	4.79	40
2	0~20	5.06	33.30	1.73	0.19	10.40	130
	20~40	5.25	17.30	0.81	0.27	8.75	90
	40~60	5.41	18.20	0.62	0.11	10.24	80
3	0~20	5.16	67.00	2.42	0.37	8.09	160
	20~40	5.24	53.31	2.56	0.82	4.29	150
	40~60	5.44	20.95	0.78	0.03	4.13	80
4	0~20	5.44	22.68	1.06	0.14	29.43	120
	20~40	5.61	13.61	0.56	0.09	7.60	90
	40~60	5.65	30.50	0.16	0.04	6.11	50
5	0~20	5.44	40.04	1.42	0.86	25.43	150
	20~40	5.59	17.70	0.85	0.62	20.48	120
	40~60	5.82	4.01	0.31	0.30	7.43	70
6	0~20	5.65	70.32	2.64	0.16	22.13	150
	20~40	5.49	5.13	1.42	0.18	29.23	100
	40~60	5.52	3.03	0.88	0.10	17.01	90
7	0~20	5.70	29.06	1.42	0.69	37.28	90
	20~40	5.92	65.16	1.39	0.62	34.14	80
	40~60	6.12	7.89	0.32	0.30	32.57	70
8	0~20	5.64	21.85	0.57	0.38	16.19	60
	20~40	5.46	10.36	0.26	0.31	8.92	60
	40~60	5.34	26.61	0.20	0.26	11.73	50
9	0~20	5.81	25.08	0.71	0.31	11.73	60
	20~40	5.83	10.69	0.32	0.20	10.40	60
	40~60	5.88	7.17	0.24	0.21	7.27	50

表5 土壤肥力质量评价因子的相关系数 (n=27)

Table 5 Correlation coefficients of soil indices in the forest soil fertility quality assessment (n=27)

相关系数	物理性粘粒	土壤密度	含水量	有机质	全氮	全磷	pH 值	速效钾
土壤密度	-0.482*							
含水量	0.761**	-0.640**						
有机质	0.222	-0.055	0.202					
全氮	0.548**	-0.232	0.335	0.785**				
全磷	0.299	-0.059	0.237	0.408*	0.368			
pH 值	-0.455*	0.285	-0.582**	-0.15	-0.299	-0.037		
速效钾	0.518**	-0.287	0.363	0.630**	0.872**	0.338	-0.273	
有效磷	-0.018	-0.168	-0.191	0.164	0.233	0.287	0.453*	0.248

\*表示相关性显著(P < 0.05), \*\*表示相关性极显著(P < 0.01)

的维数，以获取主要信息，但有一定的主观性，其主要步骤为：①指标数据标准化；②指标之间的相关性判定；③计算标准化数据的协方差矩阵；④计算协方差矩阵的所有特征值并根据特征值累积贡献率确定主成分的个数；⑤计算主成分载荷值，确定主成分表达式；计算综合得分即进行主成分评分等<sup>[19]</sup>。根据主成分累积贡献率达到85%为宜的原则<sup>[20]</sup>，故选取前4个特征值，即前4个主成分（见表6）。其中，第1主成分的特征值最大，为3.816，第2、3、4主成分的特征值分别为1.963、1.167、0.784，前四个主成分的累积贡献率为85.891%，因此，前4个主成分的综合指标基本能反映土壤肥力质量评价系统内的变异信息。这表明取前4个主成分基本包含了全部9个评价因子所有的信息，可以较好地反映土壤肥力质量的综合状况。

表6 总方差解释表

Table 6 Interpretation of total variance

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.816	42.404	42.404	3.816	42.404	42.404
2	1.963	21.808	64.212	1.963	21.808	64.212
3	1.167	12.967	77.180	1.167	12.967	77.180
4	0.784	8.711	85.891	0.784	8.711	85.891
5	0.455	5.051	90.942			
6	0.367	4.082	95.024			
7	0.237	2.630	97.654			
8	0.155	1.727	99.381			
9	0.056	0.619	100.000			

由表7可以看出，第一主成分主要包含了土壤物理性粘粒含量、含水量、全氮质量分数和速效钾质量分数的信息，第二主成分主要包含了土壤含水量、有机质质量分数和pH值的信息，第三主成分主要包含了有效磷质量分数的信息，第四主成分包含了土壤密度和全磷质量分数的信息。

用  $F_i$  表示第  $i$  个土壤肥力质量综合指标，即主

表7 成分得分系数矩阵

Table 7 Coefficient matrix of composition scores

指 标	成 分			
	1	2	3	4
物理性粘粒 ( $X_1$ )	0.208	-0.154	0.149	0.129
土壤密度( $X_2$ )	-0.142	0.173	-0.536	0.288
含水量( $X_3$ )	0.192	-0.275	0.166	0.180
有机质( $X_4$ )	0.171	0.243	-0.329	-0.081
全氮( $X_5$ )	0.223	0.181	-0.195	-0.268
全磷( $X_6$ )	0.126	0.196	0.067	0.973
pH值( $X_7$ )	-0.138	0.312	0.302	-0.025
速效钾( $X_8$ )	0.216	0.157	-0.104	-0.320
有效磷( $X_9$ )	0.032	0.358	0.516	-0.125

成分，用  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_9$  分别表示土壤物理性粘粒、土壤密度、含水量、有机质、全氮、全磷、pH 值、速效钾、有效磷。则 4 个主成分表达式分别为：

$$F_1=0.208 X_1-0.142 X_2+0.192 X_3+0.171 X_4+0.223 X_5+0.126 X_6-0.138 X_7+0.216 X_8+0.032 X_9$$

$$F_2=-0.154 X_1+0.173 X_2-0.275 X_3+0.243 X_4+0.181 X_5+0.196 X_6+0.312 X_7+0.157 X_8+0.358 X_9$$

$$F_3=0.149 X_1-0.536 X_2+0.166 X_3-0.329 X_4-0.195 X_5+0.067 X_6+0.302 X_7-0.104 X_8+0.516 X_9$$

$$F_4=0.129 X_1+0.288 X_2+0.180 X_3-0.081 X_4-0.268 X_5+0.973 X_6-0.025 X_7-0.320 X_8-0.125 X_9$$

将各样地土壤肥力质量评价指标标准化后的数据分别代入上述表达式计算各主成分的得分，再以各主成分的方差贡献率为权数，对所提取的得分进行加权求和，得到不同林分下反映土壤肥力质量的综合得分（见表8）。结果表明土壤肥力质量为：五角槭×白桦×紫椴天然混交林>7号落叶松人工纯林>五角槭×紫椴×青杨天然混交林>白桦×落叶松天然混交林>云杉×紫椴天然混交林>五角槭×白桦×落叶松天然混交林>紫椴×白桦天然混交林> 9号落叶松人工纯林> 8号落叶松人工纯林。其中，整体肥力质量较好的前4块样地郁闭度较高，均达到0.85以上，且均没有采伐，而肥力质量最差的两块落叶松

表8 不同林分下土壤肥力质量综合得分

Table 8 Comprehensive scores of soil fertility quality in different stands

样地	F1	F2	F3	F4	综合得分	排名
5	0.621	0.039	0.982	1.022	0.488	1
7	-0.297	1.844	0.806	0.600	0.433	2
6	0.642	0.101	0.823	-1.482	0.272	3
3	0.897	0.248	-2.006	0.200	0.192	4
1	0.591	-1.881	0.442	0.948	-0.020	5
2	0.123	-0.502	-0.444	-0.790	-0.184	6
4	-0.509	-0.130	-0.024	-0.961	-0.331	7
9	-1.037	0.137	-0.038	0.130	-0.403	8
8	-1.031	0.143	-0.541	0.333	-0.447	9

人工纯林均在2010年有抚育主伐,郁闭度也最低。另外,7号落叶松人工纯林的林龄(19.0 a)较8号和9号落叶松人工纯林(分别为38.3 a和47.0 a)要小得多。对于7号落叶松人工纯林而言,林分前一段的发育是由单株向郁闭方向发展,落叶松个体间竞争平缓,林分对土壤肥力要求较低,因此其土壤肥力质量较好。而8号和9号样地肥力质量较差的最直接原因可能是随着落叶松的生长,养分竞争激烈,经过40~50 a的生长发育,对土壤肥力消耗过大,土壤肥力水平下降。可见,采伐和林龄对土壤肥力质量有一定的影响。采伐破坏了土壤和植被之间的养分循环,通过凋落物分解向土壤返还的养分不足,使得土壤养分流失,从而改变甚至恶化土壤的理化性质,这与Lal R<sup>[21]</sup>, Juan A et al<sup>[22]</sup>和Hajabbasi M A et al<sup>[23]</sup>的研究结果一致;同时,在纯林中,随着林木的生长,可能会使得土壤的肥力质量降低,这与李国雷等<sup>[24]</sup>的研究结果一致。

### 3.3.3 土壤肥力质量等级划分

为了避免人为主观的影响,以各样地的综合得分作为评价其土壤肥力质量的新指标进行系统聚类。聚类分析一般分三步进行:①数据变换处理(数据标准化或者规格化);②计算聚类统计量(距离或者相似系数);③选择聚类方法<sup>[20]</sup>。聚类分析避免了主观随意性,但是,其过程较繁琐。由图1可

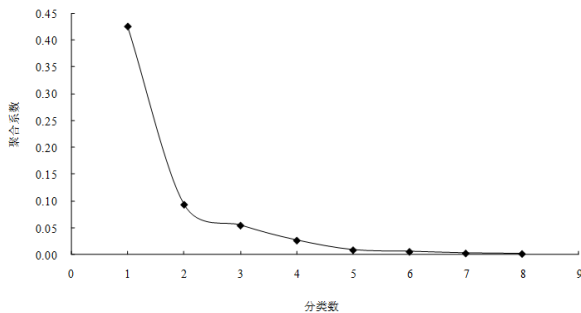


图1 聚合系数随分类数变化曲线

Fig.1 Curve of aggregation coefficient with the classification number

见,当分类数为4时,曲线变化比较平缓,符合聚类的目的。因此,将研究区9块样地的肥力质量分为4等(优、良、中、差)。

根据聚类分析将9块样地分为4类(见图2),综合排名为1、2的为第一类,3、4为第二类,5、6为第三类,7、8、9为第四类,从而将研究区的9块样地的土壤肥力质量分为四等,即5号和7号样地为第一等(优),6号和3号样地为第二等(良),1号和2号为第三等(中),4号、9号和8号样地为第四等(差)。除了肥力质量为中等的1号样地有轻度采伐外,属于优、良、中等肥力水平的样地均无采伐,而属于差等肥力质量的样地均与2010年有主伐;另外,除了7号样地落叶松幼龄林外,属于优、良、中等肥力质量的样地均为天然混交林。其中,属于差等肥力质量的样地所占研究样地的比例最大为33.3%,属于中等以上(优、良、中等)土壤肥力质量林地所占研究样地的比例为66.7%,表明该研究区森林土壤肥力质量属于中等水平。

使用平均联接(组间)的树状图

重新调整距离聚类合并

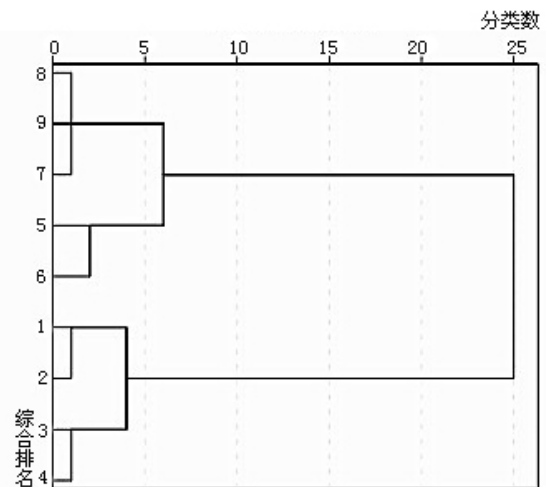


图2 树状聚类图

Fig.2 Dendrogram

## 4 讨论

(1) 本研究中,林地土壤养分具有明显的表聚性,这主要是因为森林土壤表层有很多枯落物,其分解可以释放大量的养分元素。土壤养分质量分数之间具有不同程度的相关关系,说明土壤因子之间相互促进或制约,可以用其综合反映土壤肥力水平。该研究没有考虑生物学指标对土壤肥力质量评价的影响,对于生物学指标在土壤肥力质量评价中的应用还有待更深入研究。

(2) 研究表明不同的林地类型对土壤养分状况有很大的影响,天然混交林的土壤肥力质量要高于

落叶松人工纯林, 主要是土壤有机质、土壤全氮及速效钾质量分数较高, 可能是由于枯落物的组成影响其土壤养分质量分数; 采伐样地的土壤肥力质量低于未采伐样地, 说明采伐降低了土壤的肥力质量; 在落叶松人工纯林中, 随着林木的生长, 养分竞争激烈, 土壤的肥力质量随林龄增加下降。建议在经营现存的过伐林时, 注意调整林分结构和树种组成, 以及控制采伐强度, 促进向混交林方向发展。在土壤肥力质量较低的林区, 由于物理性粘粒含量、土壤全氮和速效钾质量分数较低, 可采取封山育林等措施, 促进土壤和植被之间的养分循环, 以改善林分整体的肥力状况。此外还要继续进行长期定位观测和比较, 以便能更系统地揭示不同林分土壤养分的变化规律, 实现土壤养分的良性循环, 提高土壤肥力质量, 将有利于森林土壤资源可持续保护和维持。

(3) 本文通过主成分分析和聚类分析相结合的方法, 对东北过伐林区不同林分类型进行土壤肥力质量评价, 主成分分析具有一定的主观性, 而聚类分析能够降低这种主观性的影响, 两种方法相互弥补了各自的不足, 能正确地反映出土壤肥力水平, 可为该地区的森林可持续经营提供一定的参考。

## 5 结论

(1) 各林分下土壤质地基本以中壤土和轻壤土为主。随着土壤深度的增加, 土壤密度增大, 相对而言, 几种林分中, 落叶松人工纯林的土壤密度较大, 土壤也相对板结和紧实。土壤质量含水量随着土壤深度的增加而减小, 这与土壤质地、土壤密度及地上植被状况有一定的关系。

(2) 林分土壤的pH值随着土壤深度的增加而升高。土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、全钾和速效钾质量分数具有明显的表聚性。

(3) 土壤肥力质量评价因子之间关系密切。土壤物理性粘粒含量与含水量、全氮、速效钾质量分数呈极显著正相关, 而与土壤密度、pH值呈显著负相关, 土壤养分质量分数之间具有不同程度的显著正相关关系。

(4) 通过计算系统内主成分综合得分, 得出各林分土壤肥力质量排名为: 五角槭×白桦×紫椴天然混交林>7号落叶松人工纯林>五角槭×紫椴×青杨天然混交林>白桦×落叶松天然混交林>云杉×紫椴天然混交林>五角槭×白桦×落叶松天然混交林>紫椴×白桦天然混交林>9号落叶松人工纯林>8号落叶松人工纯林。通过对土壤肥力质量综合指标值的聚类分析, 研究区土壤肥力质量分为优、良、中、差4个等级, 肥力质量属于中等以上(优、良、中等)的林地所占研究样地的比例为66.7%, 研究区森林土

壤肥力质量属于中等水平。

## 参考文献:

- [1] 易秀, 谷晓静, 侯燕卿, 等. 陕西省泾惠渠灌区土壤肥力质量综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(2): 132 - 137.
- [2] 姜培坤, 周国模. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤微生物量碳氮的演变[J]. 水土保持学报, 2001, 17(1): 112 - 114.
- [3] 刘鸿雁, 黄建国. 缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2041 - 2046.
- [4] 张社奇, 王国栋, 张蕾. 黄土高原刺槐林对土壤养分时空分布的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 91 - 95.
- [5] RHOADES C C, MILLER S P, SHEA M M. Soil properties and soil nitrogen dynamics of prairie like forest openings and surrounding forests in Kentuckys Knobs Region[J]. American Midland Naturalist, 2004, 152: 1 - 11.
- [6] FU B J, CHEN I D, MA K M, et al. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern shaanxi, china[J]. Catena, 2000, 39: 69 - 78.
- [7] 李艳红. 东北森林地区地表水水质指标主成分分析[J]. 辽宁大学学报:自然科学版, 2009, 36(3): 278 - 279.
- [8] 张雪萍, 侯威岭, 陈鹏. 东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(4): 370 - 374.
- [9] 周广胜, 许振柱, 周莉, 等. 中国东北样代碳循环研究进展[J]. 自然科学进展, 2003, 13(9): 917 - 922.
- [10] 李君剑, 石福臣, 世贺一郎, 等. 东北地区三种典型次生林土壤有机碳、总氮及微生物特征的比较研究[J]. 南开大学学报:自然科学版, 2007, 40(3): 84 - 91.
- [11] 陈立新, 肖洋. 大兴安岭林区落叶松林地不同发育阶段土壤肥力演变与评价[J]. 中国水土保持学报, 2006, 4(5): 50 - 55.
- [12] 闫德仁, 刘永军, 张幼军. 落叶松人工林土壤养分动态[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(3): 16 - 18.
- [13] 潘建平, 王华章, 杨秀琴. 落叶松人工林地衰退研究现状与进展[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25 (3): 59 - 63.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 14 - 111.
- [15] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000: 336 - 374.
- [16] DORAN J W. Soil health and global sustainability: translating science into practice[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 88: 119 - 127.
- [17] 任丽娜, 王海燕, 丁国栋, 等. 华北土石山区人工林土壤健康评价研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 46 - 52.
- [18] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 118 - 120.
- [19] 钱登峰. 华北土石山区典型植物群落土壤健康评价[D]. 重庆北碚: 西南大学, 2007: 10 - 14.
- [20] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2009: 153-169.
- [21] LAL R. Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. Soil chemical properties[J]. Land Degradation Development, 1996, 7: 87 - 98.
- [22] JUAN A, BLANCO J, BOSCO I, et al. Castillo. Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 256: 1840 - 1852.
- [23] HAJABBASI M A, LALALIAN A, KARIMZADEH R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran[J]. Plant and Soil, 1997, 190: 301 - 308.
- [24] 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.

## Evaluation of soil fertility quality under different forest stands in over-logged forest region, northeast China

YANG Xiaojuan, WANG Haiyan, LIU Ling, LI Xu, REN Lina

Key Lab of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** Preservation and improvement of forest soil fertility quality is the basic task for forest health, and it is of great importance to study forest soil fertility quality for the maintenance and sustainable management of forest health. The larch plantation and natural mixed forests of picea and linden, birch and linden, larch, birch and maple, birch, maple and linden, birch and larch, linden, maple and cathay poplar in Jincang forest farm, Jilin Province were selected for the determination and comparison of soil physico-chemical properties in different forest stands. Soil fertility quality of these forest stands was further assessed with principal component analysis and clustering analysis methods. The results were showed as the followings: ①Types of forest stands had significant effects on soil physico-chemical properties. With the increase of soil depth, soil bulk density and soil pH increased, but soil water content, physical clay contents and nutrients content decreased with diverse variation degrees in different forest stands. ②There existed close correlations between soil properties. Soil water content, total N and rapidly available K had very significant positive correlations with physical clay content, but significant negative correlations with soil bulk density and soil pH. The correlations between soil nutrients content were significant positive, but with different degrees. ③The soil fertility quality assessment with principal component analysis showed better soil fertility quality in natural mixed forest than larch plantation in the depth of 0~60 cm. Cutting could reduce the level of soil fertility quality; and in larch plantation, as the stand age increased, soil fertility quality was lower. Through clustering analysis of comprehensive index, the soil fertility quality was classified into 4 levels, namely excellent, good, medium and poor. The soil fertility quality of the study area belonged to middle level in general with 66.7% of forest stands falling into excellent, good, medium levels. Therefore, adjusting stand structure and tree species composition and controlling thinning intensity with long-term and located observations are suggested to improve the general fertility quality of over-logged forest stands. The results provided direct supports for sustainable forest management of Jincang forest farm, and offered the references to the soil fertility quality assessment of forest ecosystems in northeastern region.

**Key words:** over-logged forest; forest soil; soil fertility quality assessment; principal component analysis; clustering analysis