

# 基于因子与聚类分析的不同林分土壤理化性质评价

陈琳, 赵陟峰, 赵廷宁, 王娟

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**基于对半干旱黄土地区抗旱造林示范区定位试验,筛选具有相似地形条件的 10 块标准地,选择 9 项反映土壤理化性质的定量指标,采用因子分析及聚类分析对不同配置及密度林分的土壤理化性质进行综合评价,采用系统聚类法对其进行分类。通过因子分析,将 9 项指标转化为 4 个主因子:土壤速效养分供应因子、土壤全氮及 pH 因子、土壤结构持水因子、土壤容重因子。因子得分结果表明:不同林分模式 4 个公因子差异明显,各林分对土壤理化性质改良各有侧重,落叶松油松混交得分较低,可能是深根性树种对表层土壤改良影响甚微,因子综合得分前三名均为刺槐林(林分密度 1 200~1 700 株/hm<sup>2</sup>),依次为刺槐 CH<sub>2</sub>(1 200 株/hm<sup>2</sup>)>刺槐 CH<sub>1</sub>(1 700 株/hm<sup>2</sup>)>刺槐 CH<sub>3</sub>(1 625 株/hm<sup>2</sup>),说明刺槐作为研究区优势种,在改善土壤理化性质方面优势显著,适宜密度下刺槐林对土壤理化性质的改良作用更突出。聚类分析结果表明,将改良土壤理化性质相似的林分化为一类,说明不同植被配置模式对土壤理化性质改良存在相似性,但不同类林分对土壤理化性质改良各有侧重。

**关键词:**土壤理化性质; 因子分析; 聚类分析

中图分类号:S714.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0191-06

## Evaluation of Soil Physical and Chemical Properties Quality under Different Forest Based on Factor and Cluster Analysis

CHEN Lin, ZHAO Zhi-feng, ZHAO Ting-ning, WANG Juan

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

**Abstract:** Based on the positioning experimental in semi-arid loess area, factor (FA) and clusters (CA) analysis were used to evaluate the effect of soil physical and chemical properties by selecting 10 similar conditions criteria, and 9 soil properties that reflect the quantitative indicators. By factor analysis, four soil common qualities (i. e., soil available nutrient supply factors, soil total nitrogen and pH factors, soil structure, water retention factor, soil bulk density factor) were derived from 9 soil indicators. The FA results show that there are significantly different among different forest types based on 4 common factors; different stands focus on different improvement on soil physical and chemical properties. The type of *Larix gmelinii* and *Pinus tabulaeformis* mixed gets low score, which may be deep-rooted trees have little effect on surface soil, the top three integrated patterns with the highest score include *Robinia pseudoacacia* (stand density 1 200~1 700 plant/hm<sup>2</sup>), followed by *Robinia pseudoacacia* CH<sub>2</sub> (1 200 plant/hm<sup>2</sup>)>*Robinia pseudoacacia* CH<sub>1</sub> (1 700 plant/hm<sup>2</sup>)>*Robinia pseudoacacia* CH<sub>3</sub> (1 625 plant/hm<sup>2</sup>), *Robinia pseudoacacia* as the dominant species in the research area, which significantly improved soil physical and chemical properties, suitable *Robinia pseudoacacia* density is more prominent on improving soil physical and chemical properties.

**Key words:** soil physical and chemical property; factor analysis; cluster analysis

半干旱黄土地区生态环境恶劣,土壤贫瘠,人工植被恢复显得尤为重要。土壤理化性质在植被恢复生态系统范围内,可维持林木生长、防治水土流失、保

护环境质量以及促进动植物健康<sup>[1]</sup>。土壤理化性质与土壤形成因素及不同植被配置引起的动态变化有关。不同森林配置结构对土壤扰动迥异,从而对土壤

收稿日期:2011-04-12

修回日期:2011-05-10

资助项目:国家“十一五”科技支撑计划课题“黄土高原丘陵沟壑半干旱区水土保持抗旱造林及径流林业技术试验示范”(2006BAD03A1201)

作者简介:陈琳(1986—),女,新疆伊犁人,在读硕士,主要研究方向是工程绿化。E-mail:chenlin\_jelly@163.com

通信作者:赵廷宁(1962—),男,河北阳原人,教授,主要从事工程绿化研究。E-mail:zhtning@bjfu.edu.cn

理化性质改良也具有差异性,张俊华等<sup>[2]</sup>、彭文英等<sup>[3]</sup>、黄和平等<sup>[4]</sup>、陆树华等<sup>[5]</sup>对南北方地区不同时期植被恢复对土壤理化性质改良做了相关研究,王树力<sup>[6]</sup>在东北地区研究了不同经营类型红松林对土壤性质的影响,在黄土地区不同学者对理化性质的相关性、不同土壤类型、不同土地利用对土壤理化性质差异对比做了诸多研究。

本文通过研究区 10 个典型人工林配置模式,采取因子分析法、系统聚类法等定量分析方法,对不同林下土壤理化性质进行系统的对比研究,旨在科学地评价不同人工林模式对土壤理化性质的影响,以期在人工林配置上有更深入的认识,为半干旱黄土丘陵地区生态恢复与重建,人工林森林改造工程持续开展,提供可靠的理论依据。

## 1 研究区概况

试验基地在山西省方山县土桥沟流域,北纬 37°36′58″,东经 111°02′55″,该区属典型黄土丘陵沟壑地貌,地表大部分为新生代第四纪马兰黄土所覆盖,厚度为 50~100 cm,土壤为黄绵土。该区属暖温带大陆性季风气候,平均气温 7.93℃,年平均降水 516.16 mm,且年内分配非常不均,6—9 月降水占全年的

72.71%;年平均水面蒸发量高于 1 857.7 mm,最大蒸发量出现在 4—6 月,明显大于同期降水。人工林中乔木树种主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、白榆(*Ulmus pumila*)、华北落叶松(*Laix principis sruprechtii*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等,林下主要野生灌木有黄刺玫(*Rosa xanthina*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等,草本层植物以菊科和禾本科为主(表 1)。

## 2 研究方法

### 2.1 筛选样地及样品采集

本文对研究区 33 块人工林固定标准地,筛选出 10 块具有相似地形特征的样地作为研究对象,即林龄均为 25~30 a,坡度为 30°以下的阳坡样地,分别为油松纯林(YS)、油松×刺槐混交(YH/CH)、落叶松×油松(LYS/YS)、不同配置密度刺槐纯林(CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>、CH<sub>3</sub>、CH<sub>4</sub>、CH<sub>5</sub>)、侧柏纯林(CB)、白榆纯林(BY)10 个人工林配置模式。对林下土壤分层(20 cm)取样,3 个重复,将重复的同层土样混和均匀后立即装入样品袋,带回并风干过筛待用。本文以表层土壤(0—20 cm)各项理化指标研究不同林分对土壤理化性质的影响。

表 1 样地基本特征

林分及代码	海拔/m	坡向	坡度/ (°)	林分密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	平均树高/m	平均胸径/cm
油松(YS)	1452	SW	4	1675	5.85	7.85
油松/刺槐(YS/CH)	1299	SW	7.5	875	5.45/6.42	11.98/12.4
刺槐(CH <sub>1</sub> )	1291	SW	21	1700	8.2	9.6
落叶松/油松(LYS/YS)	1287	SE	2.5	1125	3.52/4.6	5/10.07
刺槐(CH <sub>2</sub> )	1270	SE	3.5	1200	7.2	10.5
侧柏(CB)	1256	SW	29.8	1250	5.2	5.9
刺槐(CH <sub>3</sub> )	1264	SW	24.5	1600	8.22	10.81
刺槐(CH <sub>4</sub> )	1226	SW	10	875	7.47	11.1
刺槐(CH <sub>5</sub> )	1230	SW	22.5	1625	7.6	10.4
白榆(BY)	1231	SW	11	1150	5.6	10.7

注:CH<sub>1</sub>——林分密度为 1 700 株/hm<sup>2</sup>;CH<sub>2</sub>——1 200 株/hm<sup>2</sup>;CH<sub>3</sub>——1 600 株/hm<sup>2</sup>;CH<sub>4</sub>——875 株/hm<sup>2</sup>;CH<sub>5</sub>——1 625 株/hm<sup>2</sup>;YS——林分密度 1 675 株/hm<sup>2</sup>;YS/CH——林分密度 875 株/hm<sup>2</sup>;LYS/YS——林分密度 1 125 株/hm<sup>2</sup>;CB——林分密度 1 250 株/hm<sup>2</sup>;BY——林分密度 1 150 株/hm<sup>2</sup>。

### 2.2 研究指标测定方法

土壤养分采用常规方法测定<sup>[7]</sup>,其中 pH 用电位测定法,有机质用重铬酸钾容量法——外加热法,全氮用高氯酸—硫酸消化法,速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提钼锑抗比色法,速效钾用 NH<sub>4</sub>OAC 浸提,火焰光度法;土壤含水量用烘干法,容重用环刀法,毛管孔隙度及非毛管孔隙度由计算得出。

### 2.3 数据处理及分析

数据采用 SPSS 18.0 软件对原始数据进行标准

化,利用因子分析(Factor Analysis),根据新变量进行聚类分析(Cluster Analysis)数据统计分析。

## 3 评价指标体系建立

### 3.1 基本指标选取及基本特征分析

鉴于不同林分对不同土层理化性质改良存在的差异性,且植被对表层土壤影响更为显著,本文将表层土壤(0—20 cm)数据作为评价对象,建立土壤理化性质综合评价指标体系,土壤物理性质包括容重、毛

管孔隙度及非毛管孔隙度和自然含水量;化学性质包括养分因子(有机质、全氮、速效磷、钾)和盐分因子(pH 值)。本文将筛选 9 个能够反映土壤结构及养分的指标,其中  $X_1$  为 pH,  $X_2$  为全氮(%),  $X_3$  为速效磷

(mg/kg),  $X_4$  为有机质(%),  $X_5$  速效钾(mg/kg),  $X_6$  土壤自然含水量(g/cm<sup>3</sup>),  $X_7$  为土壤容重,  $X_8$  为毛管孔隙度 CP(%),  $X_9$  为非毛管孔隙度(%),具体指标见表 2。

表 2 不同林分土壤理化性质分析结果

林分	pH(5:1)	TN/ %	AP/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	SOM/ %	AK/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	SW/ %	BD/ (g·cm <sup>-3</sup> )	CP/ %	NCP/ %
YS	8.15	0.1074	20.4	1.6106	201.63	8.19	1.08	49.98	9.36
YS/CH	8.53	0.0921	29.16	0.7274	222.45	3.51	1.13	46.81	10.62
CH <sub>1</sub>	8.53	0.046	25.88	1.4888	255.86	8.95	1.17	48.79	7.01
LYS/YS	8.59	0.046	12.98	0.9039	197.01	2.84	1.06	46.78	13.16
CH <sub>2</sub>	8.41	0.0921	33.54	0.8507	258.41	10.21	1.12	50.49	7.26
CB	8.46	0.0614	9.57	0.7444	191.53	3.8	1.16	52.7	3.57
CH <sub>3</sub>	8.57	0.0614	10.91	0.8507	208.7	9.81	1.15	49.58	7.06
CH <sub>4</sub>	7.98	0.1151	11.23	0.5292	208.57	9.11	1.13	49.89	7.28
CH <sub>5</sub>	8.08	0.1151	7.3	1.1114	202.85	10.13	1.12	50.48	7.12
BY	8.23	0.1228	17.72	1.2117	212.21	4.59	1.22	46.98	7.01
平均值	8.35	0.09	17.87	1	215.92	7.11	1.13	49.25	7.95
标准差	0.22	0.03	9.07	0.35	23.31	3.04	0.05	1.93	2.57
变异系数/%	2.68	34.67	50.77	34.61	10.8	42.71	3.99	3.91	32.39

注:TN——全氮;AP——速效钾;SW——土壤自然含水量;BD——土壤容重;CP——毛管孔隙度;NCP——非毛管孔隙度

土壤理化性质作为下垫面因素,直接影响林木的生长<sup>[8]</sup>及林下植被的更替。当土壤条件欠佳,植物生长受阻时,会造成植被结构生产力低下、结构简单、生态效益与经济效益较差<sup>[9-10]</sup>。人工造林有利于改良土壤理化性质,继而有利于林下植被更新,提高群落结构的稳定性,并且改善林地的土壤养分状况,对防止土地退化及防止土壤流失具有明显的作用。

从表 2 可以看出,pH、速效钾、土壤容重、毛管孔隙度变异相对较小,说明在区域范围内变化相对均一,而全氮、速效磷、有机质、土壤水分、非毛管孔隙度变异较大。

不同林分林下土壤 pH 普遍呈弱碱性,基本上为阔叶林<针阔混交<针叶林,主要因为阔叶林枯落物更易分解,表层腐殖质积累较多,矿化后引起 H<sup>+</sup>的释放,降低土壤 pH 值<sup>[11]</sup>。全氮是土壤氮素养分的储备指标,在一定程度上说明了土壤氮的供应能力,速效磷与速效钾( $r=0.818$ )、pH( $r=0.308$ )具有较高的相关性,与土壤的其他土壤性质的相关性较低,说明速效钾、速效磷的含量主要取决于该区域的母质母岩特性与土壤的酸碱程度。土壤中磷元素迁移性小,加之下垫面母质相对一致,速效磷变异系数较大(50.77%),这也是不同植被对速效磷吸收养分不等引起的差异;土壤表层的有机质积累主要是植被的枯落物分解腐烂形式归还土壤的结果,有机质变异系数比较大(34.61%),主要是不同树种、枯落物分解存在差异等原因,使得有机质表层富集存在明显差异;土

壤含水量受毛管孔隙度的影响( $r=0.442$ ),能反映林内湿润状况,并影响枯落物物质分解转化、能量流动及养分的淋溶等过程;土壤容重反映出土壤透水性、通气性和根系伸展时的阻力状况。与土壤的有机质含量、黏粒含量、结构状况以及植被类型的根系组织对土壤的穿插和扰动程度有关<sup>[12]</sup>。影响着土壤的渗透性和保水能力,与非毛管孔隙度相关( $r=0.659$ )。土壤孔隙是水分和空气的通道和储存所,是土壤肥力的基本因素之一,直接影响土壤水、热及通气状况与物质转化的速度与方向,对林木生长起着主要的作用。

3.2 不同林分下土壤理化性质因子分析

3.2.1 因子分析法 各样地的土壤理化性质指标建立原始数据矩阵,将其进行标准化,根据主成分因子贡献率 $\geq 85\%$ 的原则提取公因子,若是公因子意义不明,可对标准矩阵进行旋转,本研究运用方差最大法(Varimax)对初始因子旋转,将各林分的土壤理化公因子进行得分及排名,并将贡献率作为权重计算各林分土壤理化性质的综合得分及排名,随后对标准化原始矩阵或公因子新变量通过系统聚类法对不同林分进行分类。本研究经过因子分析,出现 4 个公因子,对样本方差的贡献率为 84.03%,满足土壤分析要求<sup>[13]</sup>,即 4 个公因子代表原来的 9 个指标,各因子的特征值、贡献率及累计贡献率见表 3。

通过旋转因子载荷表(表 3)得知:pH( $X_1$ )、全氮( $X_2$ )、速效磷( $X_3$ )、有机质( $X_4$ )、速效钾( $X_5$ )、土壤自然含水量( $X_6$ )、土壤容重( $X_7$ )、毛管孔隙度( $X_8$ )、非毛

管孔隙度( $X_9$ )进行因子分析。其主因子方程分别为

$$F_1 = 0.129X_1 + 0.032X_2 + 0.867X_3 + 0.455X_4 + 0.917X_5 + 0.427X_6 + 0.082X_7 - 0.232X_8 + 0.126X_9$$

$$F_2 = -0.932X_1 + 0.949X_2 - 0.158X_3 + 0.19X_4 - 0.201X_5 + 0.304X_6 + 0.071X_7 - 0.004X_8 - 0.055X_9$$

$$F_3 = -0.257X_1 - 0.049X_2 - 0.227X_3 + 0.011X_4 + 0.111X_5 + 0.739X_6 - 0.025X_7 + 0.913X_8 - 0.675X_9$$

$$F_4 = 0.029X_1 + 0.133X_2 + 0.042X_3 - 0.127X_4 + 0.192X_5 - 0.111X_6 + 0.97X_7 + 0.101X_8 - 0.714X_9$$

表 3 旋转因子载荷矩阵

指标	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
pH( $X_1$ )	0.129	-0.932	-0.257	0.029
TN( $X_2$ )	0.032	0.949	-0.049	0.133
AP( $X_3$ )	0.867	-0.158	-0.227	0.042
SOM( $X_4$ )	0.455	0.19	0.011	-0.127
AK( $X_5$ )	0.917	-0.201	0.111	0.192
SW( $X_6$ )	0.427	0.304	0.739	-0.111
BD( $X_7$ )	0.082	0.071	-0.025	0.97
CP( $X_8$ )	-0.232	-0.004	0.913	0.101
NCP( $X_9$ )	0.126	-0.055	-0.675	-0.714
特征根	2.077	1.972	1.968	1.546
方差贡献率/%	23.076	21.91	21.865	17.178
累计方差贡献率/%	23.076	44.987	66.852	84.03

第一个主因子  $F_1$  具有高载荷的指标有速效钾( $X_5$ )、速效磷( $X_3$ )、有机质( $X_4$ )，其中速效钾、速效磷反映了土壤供给速效养分能力的大小，直接影响植物的现实生产力<sup>[14]</sup>，有机质对土壤物理、化学和生物学

性质有重要的影响，因此将主因子  $F_1$  命名为土壤速效养分供应因子；第二个主因子  $F_2$  具有高载荷的指标有全氮( $X_2$ )、pH( $X_1$ )；全氮是土壤贮存养分能力的大小，pH 对土壤肥力性状影响较大。且与全氮具有较高的相关性，可将  $F_2$  命名为土壤全氮及 pH 因子。第三主因子  $F_3$  有毛管孔隙度( $X_6$ )、土壤自然含水量( $X_9$ )、非毛管孔隙度( $X_8$ )，毛管孔隙通常和土壤的持水能力相关，反映土壤结构状况；植物根系切割作用是非毛管孔隙度最重要的因素，反映土壤结构透水通气持水的能力，因此命名为土壤结构持水因子；第四主因子  $F_4$  具有高载荷的指标有土壤容重( $X_7$ )，土壤容重对土壤的透气性、入渗性能、持水能力、溶质迁移特征以及土壤的抗侵蚀能力都有非常大的影响，命名为土壤容重因子。

3.2.2 不同林分土壤理化性质得分及排名 采用线性回归计算各因子的得分，因子得分函数为

$$F_i = b_i X \quad (1)$$

式中： $F_i$ ——各因子得分； $X$ ——不同因子； $b_i$ ——因子分析得分矩阵第  $i$  列向量，见表 4。不同林分林下土壤理化性质在各主分量上存在很大的差异，不同树种对土壤理化性质的改良侧重不同。

将各因子特征值的贡献率作为权重进行加权求和可得到综合评价指标。

$$F_{\text{综}} = \sum_{i=1}^m (v_i/p) F_i \quad (2)$$

式中： $v_i/p$ ——为旋转因子对  $X_i$  方差； $F_i$ ——各因子得分。

表 4 因子得分系数矩阵

因子	pH( $X_1$ )	TN( $X_2$ )	AP( $X_3$ )	SOM( $X_4$ )	AK( $X_5$ )	SW( $X_6$ )	BD( $X_7$ )	CP( $X_8$ )	NCP( $X_9$ )
$F_1$	0.014	0.052	0.409	0.236	0.435	0.245	0.008	-0.094	0.068
$F_2$	-0.467	0.521	-0.019	0.122	-0.082	0.091	0.044	-0.127	0.061
$F_3$	-0.033	-0.168	-0.097	0.015	0.080	0.418	-0.183	0.506	-0.262
$F_4$	0.059	0.098	0.036	-0.107	0.083	-0.216	0.679	-0.073	-0.391

由表 5 可以看出，不同林分各因子得分表现差异较大，从  $F_1$  (土壤速效养分供给因子) 看出，得分最高的依次是 CH<sub>2</sub> (刺槐 2)、CH<sub>1</sub> (刺槐 1)、YS/CH (油松/刺槐混交)，说明以上 3 种林分，在速效钾、速效磷、有机质上具有较高的优势，刺槐及以刺槐为主的混交林土壤速效养分供给能力比较强，主要原因是刺槐生长迅速，枯落物疏松易分解，养分返还快；得分较低的有 CB (侧柏)、LYS/YS (落叶松/油松)、CH<sub>4</sub> (刺槐 4)，主要是林分密度小、林木冠幅小等原因，枯落物不足或分解不足，土壤速效养分方面并没有表现出优势。从  $F_2$  (土壤全氮及 pH 因子) 上看，得分较高的是 CH<sub>5</sub> (刺槐 5)、CH<sub>4</sub> (刺槐 4)、BY (白榆)，主要是刺

槐水平根分布相对较浅，多集中在表土层内，且根部有固氮功能的根瘤菌，对表层土壤氮素提高有重要的影响作用，白榆抗逆性极佳，长势迅速，对土壤全氮改良也有积极的作用。从  $F_3$  (土壤结构及持水因子) 上看，CB (侧柏)、CH<sub>5</sub> (刺槐 5)、CH<sub>2</sub> (刺槐 2) 得分最高，细根生长及分解可以改善土壤的孔隙状况，且三种林分密度均为 1 200~1 625 株/hm<sup>2</sup>，说明在适宜的林分密度条件下，根系切割对土壤结构、土壤持水能力有较强的影响作用。从  $F_4$  (土壤容重因子) 上看，BY (白榆)、CB (侧柏)、CH<sub>1</sub> (刺槐 1) 排名较高，白榆、侧柏对降低土壤容重、疏松土壤的作用有比较突出的优势。

综上所述,对各林分土壤理化性质进行综合排名评价,排名前三位的均为刺槐,CH<sub>2</sub>、CH<sub>1</sub>、CH<sub>5</sub>均高于其他林分,主要是选取的刺槐林为适宜的密度(1 200~1 700 株/hm<sup>2</sup>),林分已郁闭成林,冠层覆盖减少土壤水分自然蒸发,枯落物分解及根系作用较

大,在一定程度上可以改良表层的土壤理化性质。而排名较低 LYS/YS、YS/CH、CB,以针叶林为主,植被根系作用对表层影响不大,冠幅窄小,枯落物含有单宁及难分解的物质,造成养分转化时期较长等原因,土壤理化性质综合评分不高。

表 5 各因子得分及不同林分土壤质量综合得分

林分	F <sub>1</sub>		F <sub>2</sub>		F <sub>3</sub>		F <sub>4</sub>		综合	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
YS	0.364	4	1.022	4	0.274	7	-1.340	9	0.137	6
YS/CH	0.365	3	-0.292	6	-1.563	10	0.103	5	-0.304	9
CH <sub>1</sub>	1.530	2	-0.956	8	0.354	6	0.507	3	0.308	2
LYS/YS	-0.793	9	-1.064	10	-1.295	8	-1.629	10	-0.979	10
CH <sub>2</sub>	1.579	1	-0.265	5	0.807	3	-0.079	7	0.469	1
CB	-1.588	10	-1.045	9	0.906	1	1.067	2	-0.214	8
CH <sub>3</sub>	-0.401	6	-0.842	7	0.633	4	0.140	4	-0.115	7
CH <sub>4</sub>	-0.620	8	1.159	2	0.443	5	-0.034	6	0.202	5
CH <sub>5</sub>	-0.455	7	1.161	1	0.828	2	-0.444	8	0.254	3
BY	0.020	5	1.122	3	-1.387	9	1.709	1	0.241	4

林下植被在一定程度上反映了土壤的内在属性,也是检验土壤理化性质的实践方式,将林下植被的多样性指标作为检验土壤理化性质的依据。

由图 1 看出,不同林分植被综合得分排序依次为 CH<sub>2</sub>>CH<sub>1</sub>>CH<sub>5</sub>>BY>CH<sub>4</sub>>YS>CH<sub>3</sub>>CB>YS/CH>LYS/YS,不同林分理化性质与林下植被多样性变化趋势基本吻合,说明因子分析在评价土壤理化性质方面符合客观现实,基于因子分析的土壤评价结果可作为客观评价指标认识土壤理化性质的依据。

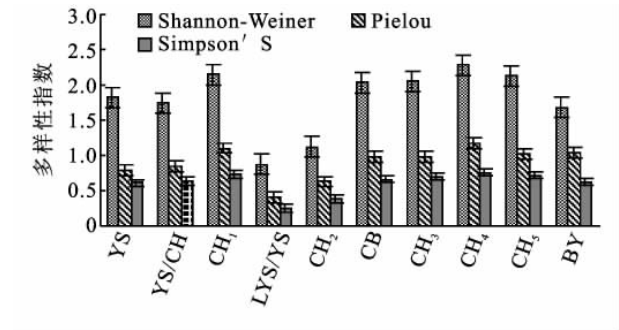


图 1 不同林分林下植被多样性指数

将各林分进行系统聚类,同一类林分土壤理化性质就具有相似的特征,为体现不同林分差异(见图 2),将距离阈值设为 6,第 1 类为 CH<sub>4</sub>(刺槐 4)、CH<sub>5</sub>(刺槐 5)、YS(油松)、第 2 类为 CB(侧柏)、CH<sub>3</sub>(刺槐 3),第 3 类 CH<sub>1</sub>(刺槐 1)、CH<sub>2</sub>(刺槐 2),第 4 类 YS/CH(油松/刺槐),第 5 类 BY(白榆),第 6 类为 LYS/YS(落叶/松油松)。

第 1 类的特点是全氮及 pH 得分较高,说明此类林分配置对土壤含氮量及改良土壤 pH 方面比较占优势;第 2 类在改善土壤结构、土壤容重方面表现俱

佳;第 3 类速效养分方面占据优势;第 4 类各项指标表现中庸,在改良土壤结构及增加土壤含水量方面表现不佳,可能是油松属于深根性加之枯落物难以分解,因此对表层土壤理化性质的改良表现一般;第 5 类在土壤结构、土壤持水特性及改良土壤方面表现俱佳,但是在土壤养分方面表现不尽人意,将白榆纳入黄土高原水土保持树种的同时,也要结合其生态学特征,进行科学的配置;第 6 类在各项指标都表现欠佳,需要考虑是否对表层土壤影响不足,或亟需人工进行改造和抚育。

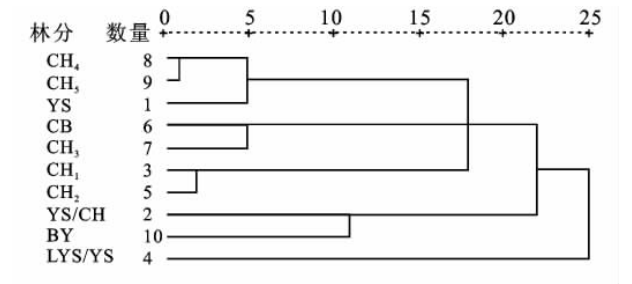


图 2 不同林分土壤理化性质评价聚类图

结合各林分因子得分,将聚类结果进行划分等级,1 等={CH<sub>1</sub>,CH<sub>2</sub>};2 等={BY};3 等={CH<sub>4</sub>,CH<sub>5</sub>,YS};4 等={CB,CH<sub>3</sub>},5 等={YS/CH};6 等={LYS/YS}。在试验区,各类水土保持树种在改良土壤理化性质方面各有侧重,通过合理配置密度及模式,可将改良土壤理化性质方面的优势更加突出。

4 结 论

通过对不同配置模式林分条件下土壤的理化状况进行因子分析,可以客观、清晰、准确地分析不同林

分对土壤理化性质的改良作用,不同林分对土壤理化性质的改良侧重不同,适宜密度的刺槐林(林分密度 $1\ 200\sim 1\ 700$ 株/ $\text{hm}^2$ )及油松林在土壤中养分储量大,供给养分及土壤持水性较佳,侧柏林对改良土壤孔隙度、土壤水分、降低土壤容重方面改良效果佳,此处为径流林业试验样地,对于干旱缺水的黄土地区,此类植被配置模式显得尤为重要;白榆林在土壤氮素供应及降低土壤容重方面优势突出;油松刺槐混交林除了在土壤供给养分方面表现良好,在其他因子上的表现一般。本文只是针对表层土壤进行了研究,此配置模式在深层次土壤理化性质改良方面的研究还有待探讨。此外,试验区刺槐、油松、白榆等优势树种在因子评分中表现俱佳,说明在黄土高原人工造林取得了实践性的成功。

聚类分析表明同一类林分对土壤理化性质方面的改良差异较小,并在土壤理化性质某些主因子方面存在相似性,聚类结果与因子分析结果基本吻合,且不同林分下林下植被多样性也与因子得分地基本一致,说明因子分析及聚类结果能更客观、量化地反映土壤的质量,有助于进行人工造林时根据不同树种对土壤理化性质改良方向上配置不同的措施。

#### 参考文献:

- [1] 赵其国,孙波,张桃林. 土壤质量与持续环境[J]. 土壤, 1997(3):113-120.
  - [2] 张俊华,常庆瑞,贾科利,等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4): 38-41.
  - [3] 彭文英,张科利,陈瑶,等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报,2005,20(2):272-278.
  - [4] 黄和平. 皇甫川流域植被恢复对改善土壤肥力的作用研究[J]. 水土保持通报,2005,25(3):37-40.
  - [5] 陆树华,李先琨,吕仕洪,等. 桂林红壤侵蚀区植被恢复过程的土壤理化性质变化[J]. 广西科学,2006,13(1): 52-57.
  - [6] 王树力. 不同经营类型红松林对汤旺河流域土壤性质的影响[J]. 水土保持学报,2006,25(2):90-93.
  - [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,1978.
  - [8] 王政权,王庆成. 森林土壤物理性质的空间异质性研究[J]. 生态学报,2000,20(6):945-950.
  - [9] 张雷明,上官周平. 黄土高原土壤水分与植被生产力的关系[J]. 干旱区研究,2002,19(4):59-63.
  - [10] 张继义,赵哈林. 植被(植被群落)稳定性研究评述[J]. 生态学杂志,2003,22(4):42-48.
  - [11] Malo D D, Schumacher T E, Doolittle J J. Long-term cultivation impacts on selected soil properties in the northern Great Plains[J]. Soil & Tillage Research, 2005,81:277-291.
  - [12] 华孟,王坚. 土壤物理学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993.
  - [13] Verma R K, Kapoor K S, Rawat R S, et al. Analysis of plant diversity in degraded and plantation forests in Kuniyar Forest Division of Himachal Pradesh[J]. Indian Journal of Forestry,2005,28(1):11-16.
  - [14] 曹世杰,王小青,徐会霞. 蒙山几个树种改良土壤物理性状的作用探讨[J]. 山东林业科技,2002(5):10-11.
- ~~~~~
- (上接第190页)
- [3] Huang C Y, Bazzazz F A, Vanderhoeff L N. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead[J]. Plant Physiology,1974,54:122-124.
  - [4] Krupa Z, Oquist G, Huner N P A. The effects of cadmium on photosynthesis of *Phaseolus vulgaris*: a fluorescence analysis[J]. Physiologia Plantarum,1993,88: 626-630.
  - [5] Stobart A K, Griffiths W T, Ameen-Bukhari I, et al. The effect of  $\text{Cd}^{2+}$  on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley[J]. Physiologia Plantarum,1985,63: 293-298.
  - [6] Siedlecka A, Krupa Z. Interaction between cadmium and iron and its effects on photosynthetic capacity of primary leaves of *Phaseolus vulgaris*[J]. Plant Physiology and Biochemistry,1996,34:833-841.
  - [7] Baszynski T, Wajda L, Krol M, et al. Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants[J]. Physiologia Plantarum,1980,48:365-370.
  - [8] Clijsters H, Assche F. Inhibition of photosynthesis by heavy metals[J]. Photosynthesis Research,1985,7:31-40.
  - [9] 冯建鹏,史庆华,王秀峰,等. 镉对黄瓜幼苗光合作用、抗氧化酶和氮代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009,15(4):970-97.
  - [10] López-Millán A F, Sagardoy R, Solanas M, et al. Cadmium toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown in hydroponics[J]. Environmental and Experimental Botany,2009,65:376-385.
  - [11] 孙光闻,朱祝军,方学智,等. 镉对小白菜光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5):700-703.
  - [12] 徐红霞,翁晓燕,毛伟华,等. 镉胁迫对水稻光合、叶绿素荧光特性和能量分配的影响[J]. 中国水稻科学, 2005,19(4):338-342.
  - [13] Larbi A, Abadia M F, Abadia J. Fe resupply to Fe-deficient sugar beet plants leads to rapid changes in the violaxanthin cycle and other photosynthetic characteristics without significant de novo chlorophyll synthesis [J]. Photosynthesis Research,2004,79:59-69.