

黄土高原马栏林区不同森林类型的土壤肥力研究

孙晓霞, 王孝安*

(陕西师范大学 生命科学学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 用灰色关联分析法对黄土高原马栏林区主要森林类型优势层生长状况与土壤养分因子的关联性进行分析, 并对土壤肥力进行评价。结果表明腐殖质层和有机质是影响森林乔木层生长的主导土壤因子, 其次是全氮和碱解氮, 然后依次为速效钾、速效磷、全磷、pH值。土壤肥力的综合评价排序总体结果显示, 辽东栎占优势的林型肥力最高, 油松林、山杨占优势的混交林居中, 辽东栎+白桦混交林较差, 而白桦占优势的混交林最差。人工油松林对土壤有一定的改良作用; 而多数混交林的土壤肥力高于以其中某一树种占优势的林型, 但以辽东栎为优势种的林型比辽东栎混交林土壤肥力高, 且辽东栎的重要值百分数越大, 其土壤肥力越高。

关键词: 黄土高原; 灰色关联分析; 土壤肥力; 综合评价排序

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2006)04-0418-06

Study on soil fertility of forest type in Malan Forest Region on the Loess Plateau

SUN Xiao-xia, WANG Xiao-an*

(College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Based on the grey relational analysis method, the relationship between the growth of trees and soil nutrient factors were analyzed, and the properties of soil nutrient in main forest types of Malan Forest Region were evaluated on the Loess Plateau in this paper. The soil nutrient factors affecting the growing of the trees could be lined as humus > organic matter > total nitrogen > available nitrogen > available kalium > available phosphate > total phosphate > pH. The arrangement of comprehensive evaluation of soil fertility indicated collectively that the soil fertility of *Quercus liaotungensis* dominated forest was the best, *Pinus tabulaeformis* forest and *Populus davidiana* dominated mixed forest were in the middle, *Q. liaotungensis* + *B. platyphylla* mixed forest was worse, especially *Betula platyphylla* dominated forest was the worst. The artificial *P. tabulaeformis* forest had improved soil fertility to some extent. The soil fertility of great majority mixed forest was higher than that of the forest types which dominant species was each of the main species of the mixed forest. While soil fertility of forest dominated by *Q. liaotungensis* showed higher than that of *Q. liaotungensis* mixed forest, and the bigger the important value of *Q. liaotungensis*, the better the soil fertility.

Key words: Loess Plateau; grey relational analysis; soil fertility; arrangement of comprehensive evaluation

植被和土壤环境的关系是生态学研究的重要领域之一, 植物群落的演替过程, 也是植物与土壤相互影响和相互作用的过程。土壤的分异导致植被的变

化, 植被的发展变化又影响着土壤的发育(曲国辉等, 2003)。土壤通过水、肥、气、热等生态因子影响植被的生长发育, 而植物在生长发育过程中通过吸

收稿日期: 2005-07-04 修回日期: 2005-12-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G2002CB111505)[Supported by the State Key Basic Research and Development Program(973)of China(G2002Cb111505)]

作者简介: 孙晓霞(1975-), 女, 陕西西安市人, 在读硕士生, 生态学专业。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: wangxa@snnu.edu.cn)

收、穿透、菌根、凋落物、根系的分解和根系分泌物等形式来影响土壤。土壤肥力是土壤物理、化学和生物等特性综合作用的结果,是土壤的本质和主要属性,可以反映土壤为植物生长供应和协调营养条件以及环境条件的能力(蒋文伟等,2002),土壤肥力状况可以揭示已有土地的利用效果。国内外大量研究文献表明,土地利用的方式影响土壤养分的分布和迁移,而养分是土壤肥力一个很重要的方面(傅伯杰等,2002),土壤肥力是土壤与植被相互作用的产物。

在土壤亚生态系统中,土壤各理化性质之间的相互作用方式、相互作用程度,以及外界环境与土壤之间的物质、能量的交换等,还多处于未知的领域。它的部分参数是已知的或可以确定的,而另一部分参数是未知的或不确定的,因此土壤亚生态系统是一个灰色系统(曹文志等,1996)。为了进一步探究植物群落和土壤环境的关系,本文应用灰色理论的灰色关联分析法,探讨了黄土高原马栏林区不同森林类型的生长状况与土壤环境因子的关系,试图对该地区不同森林类型的土壤肥力进行科学评价,为该林区森林植被的保护、抚育更新以及恢复和重建提供科学依据。

1 研究区域概况

马栏林区位于黄土高原中部陕西省旬邑县的东北部,地处 $108^{\circ}27' \sim 108^{\circ}52' E$, $35^{\circ}9' \sim 35^{\circ}33' N$,是黄土高原森林植被覆盖率最大的林区之一。由于地形、地貌、土壤类型等环境因素多变,加之长期人类活动的影响,本区森林类型复杂多样,有次生的辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林、油松(*Pinus tabulaeformis*)林、油松+辽东栎混交林,还有少量的次生山杨(*Populus davidiana*)林、白桦(*Betula platyphylla*)林及二者与辽东栎的混交林、人工油松林等。这些林地中,常伴生的树种有青榨槭(*Acer davidii*)、茶条槭(*A. ginnala*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)、甘肃山楂(*Crataegus kansuensis*)和漆树(*Toxicodendron vernici fluum*)等。

该区为土石山林区,沟壑纵横、主脉属于午岭南端,呈西北—东南走向;属暖温带半湿润地区,年均气温 $7^{\circ}C$,极端最低气温 $-28^{\circ}C$,一月平均气温 $-7^{\circ}C$, $\geq 0^{\circ}C$ 积温 $3134^{\circ}C$;无霜期 $140 \sim 160 d$,晚霜在5月上旬;年均降雨量 $630 mm$,主要集中在7、8、9三个月,干旱季节从当年12月至翌年2月;林区海拔高

度在 $1300 \sim 1700 m$ 间,相对高差 $200 \sim 400 m$,一般坡度 25° 左右;成土母质为风积黄土,土层深 $50 cm$ 左右,土壤结构疏松,富含钙质,pH值 $7 \sim 9$,属石灰性土壤。总气候特点是:光照充足,湿热同期,利于林木生长,但降水季节分布不均,旱涝相间,易出现春旱和伏旱,影响林木种子的发芽和造林成活。

2 研究方法

2.1 取样方法和土壤养分测定法

在具有代表意义的典型森林地段设置17个样地,记录海拔高度、坡位、坡向、坡度,样地面积 $20 m \times 20 m$ 。在每个样地内,记录每棵乔木(高度大于 $1.2 m$)的种名、胸径、树高、冠幅等,并按“之”字形设置5个 $4 m \times 4 m$ 的小样方,在正中心设点,记录地表凋落物层和土壤腐殖质厚度,挖 $40 cm$ 深的土壤剖面;从地表开始,分 $0 \sim 5$ 、 $5 \sim 10$ 、 $10 \sim 20$ 、 $20 \sim 30$ 、 $30 \sim 40 cm$ 五层,分别采集各层土样,将5个土壤剖面的同层土样混合,带回实验室风干,以四分法取得土壤样品,去除落叶、石砾杂物,研磨并过筛。土壤性质测定采用常规方法,所测项目包括pH值(中国科学院南京土壤研究所,1978)、速效钾、全磷、有机质(刘光崧等,1996)、速效磷、全氮、碱解氮(鲍士旦,2003)。

2.2 数据处理方法

常规定量研究各因素间的关系的方法是数理统计方法,如逐步回归、方差分析、主成分分析等。这些方法均要求大样本,且要求具有典型的概率分布规律,因而,在实际运用中往往受到限制。灰色关联分析则可以弥补这一局限,它基于灰色系统的灰色过程,而非概率论的随机过程,不要求太多样本和典型的概率分布规律,具有总体性、非对称性、非唯一性、有序性及动态性的特点(潘开文等,2001;王学萌等,1996)。其基本思想是根据序列曲线的几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密,如果两者在系统发展过程中曲线越接近,相应序列之间的关联度就越大,反之越小。用灰关联分析可以解决影响森林生长的众多因子排序问题及土壤养分水平的评价问题(潘开文等,2001;蒋文伟等,2002)。具体计算方法和步骤(王学萌等,1996)如下:

(1)采用效果测度变换对原始数据标准化(表1);(2)排序影响森林生长的养分因子,分别以乔木层的平均高度、平均胸径和平均冠幅为母序列 X_0 ,

以土壤环境因子为子序列 $X_i (i=1, 2, \dots, 8)$; 对于土壤肥力的评价, 母序列以各养分因子最优值组成 $X_0(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ 计算, 子序列以土壤环境因子组成 $X_i (i=1, 2, \dots, 8)$ 计算; (3) 分别计算母序列与子序列各对应点差的绝对值, $\Delta_{oi}(k) = |X_0(k) - X_i(k)|, i=1, 2, \dots, 8, k=1, 2, \dots, 17$; (4) 求矩阵中的最大值 Δ_{\max} 和最小值 Δ_{\min} ; (5) 计算各对应点上母序列与子序列的关联系数, $L_{oi}(k) = \frac{\Delta_{\min} + 0.5\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + 0.5\Delta_{\max}}$, 0.5 为分辨系数; (6) 求关联度, 森林生长与养分因子的关联度 $r_i = (1/n) \sum_{k=1}^n L_{oi}(k)$ (平权法); 土壤肥力综合评价中关联度 $r_i = \sum_{k=1}^n a(k) \cdot L_{oi}(k)$, (非平权

法), 式中 $a(k)$ 为各指标的权重, 以各养分因子对森林生长影响的关联度平均值去计算, 然后根据关联度大小排序。

3 结果与分析

3.1 影响森林生长的养分因子排序

当选择树高为母序列时, 根据关联系数和关联度计算公式, 可求得子序列各对应点与树高数列间的关联系数及各土壤养分指标对树高影响的关联度 r_i (表 2)。

同理, 求得各养分指标对胸径、冠幅生长影响的关联度 r_i (表 3)。从关联度可以看出, 土壤各养分

表 1 马栏林区主要森林类型样地原始数据标准化

Table 1 The standardization of original data about main forest types in Malan Forest Region

样地 Sample	树高 Height of trees	胸径 Perimeter at breast height	冠幅 Breadth of crown	pH	全磷 Total phosphate	速效磷 Available phosphate	速效钾 Available kalium	碱解氮 Available nitrogen	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	腐殖质 Humus
1	1.000	1.000	0.573	0.948	0.995	0.847	0.789	0.618	0.620	0.640	0.400
2	0.280	0.280	0.198	0.919	0.943	0.883	0.649	0.478	0.388	0.496	0.200
3	0.575	0.703	1.000	0.921	0.913	0.850	0.987	0.524	0.512	0.527	0.600
4	0.625	0.590	0.421	1.000	0.915	0.863	0.732	1.000	1.000	1.000	0.800
5	0.587	0.664	0.427	0.941	0.937	0.963	0.904	0.506	0.498	0.540	0.800
6	0.581	0.609	0.424	0.904	0.971	0.728	0.970	0.501	0.557	0.544	0.600
7	0.505	0.397	0.243	0.894	0.956	0.795	0.820	0.355	0.372	0.382	0.600
8	0.579	0.536	0.384	0.929	0.910	0.963	0.942	0.772	0.803	0.839	1.000
9	0.929	0.855	0.287	0.964	0.936	0.867	0.843	0.609	0.631	0.638	0.600
10	0.514	0.532	0.255	0.936	0.643	0.805	1.000	0.531	0.575	0.598	0.800
11	0.824	0.701	0.264	0.894	0.967	1.000	0.665	0.394	0.510	0.437	0.800
12	0.840	0.673	0.278	0.861	0.959	0.759	0.540	0.373	0.397	0.361	0.800
13	0.595	0.520	0.227	0.874	1.000	0.920	0.485	0.429	0.369	0.346	0.600
14	0.536	0.419	0.286	0.878	0.927	0.928	0.871	0.444	0.377	0.444	0.600
15	0.501	0.413	0.267	0.869	0.968	0.863	0.647	0.327	0.271	0.346	0.500
16	0.822	0.871	0.490	0.892	0.870	0.764	0.700	0.370	0.416	0.465	0.600
17	0.531	0.629	0.514	0.882	0.924	0.899	0.697	0.388	0.397	0.428	0.600

指标对森林乔木高生长影响的顺序为腐殖质 > 全氮 > 碱解氮 > 有机质 > pH 值 > 全磷 > 速效钾 > 速效磷; 对森林乔木胸径生长影响的顺序为腐殖质 > 有机质 > 全氮 > 碱解氮 > 速效钾 > 速效磷 > 全磷 > pH 值; 对森林乔木冠幅生长影响的顺序为有机质 > 碱解氮 > 全氮 > 腐殖质 > 速效钾 > 速效磷 > pH 值 > 全磷。对生长影响的关联度分析, 很难从任一项生长指标的分析找出一个绝对的主导因子, 这是因为植物的生长表现在多方面。从已有的数据出发, 通过对三个母序列与子序列的关联度平均值进行分析, 可找出相对的主导因子(黎云祥等, 1998; 周先叶等, 1999)。

设: $\bar{r}(i) = (1/3)(r_{1i} + r_{2i} + r_{3i})$, 则有 $[\bar{r}(1), \bar{r}$

$(2), \bar{r}(3), \dots, \bar{r}(8)] = [0.530, 0.531, 0.543, 0.581, 0.666, 0.672, 0.667, 0.673]$ 存在 $\bar{r}(8) > \bar{r}(6) > \bar{r}(7) > \bar{r}(5) > \bar{r}(4) > \bar{r}(3) > \bar{r}(2) > \bar{r}(1)$, 结果表明: 在 8 个土壤因子中, 对森林优势层植物的生长影响最大的相对主导因子是腐殖质层和有机质, 其次是全氮和碱解氮, 然后依次为速效钾、速效磷、全磷、pH 值。土壤有机质是土壤中各种营养元素的重要来源, 其中的腐殖质是亲水胶体, 具有高吸水性的特点, 且能吸附较多的阳离子, 因而使土壤具有保肥性、保水性(朱祖祥, 1983; 鲍士旦, 2003), 从而促进了森林植物的生长。从分析结果可以看出, 在野外调查时, 可以通过对土壤腐殖质层厚度判断土壤的养分及其对植物生长的影响状况; 此外, 还显示出氮

素是三大营养元素中的主导因子。

3.2 土壤肥力的评价

根据养分因子对森林乔木层生长的关联分析结果, 依表 2 及表 3 的指标顺序, 求得各指标的权重为 $a(k) = [0.109, 0.109, 0.112, 0.120, 0.137, 0.138,$

$0.137, 0.137, 0.138]$ 通过灰关联分析, 求得主要森林样地土壤肥力综合评价排序(表 4)。其结果总体表现为辽东栎林肥力最高, 油松林和山杨占优势的混交林居中, 辽东栎与白桦的混交林较差, 而白桦占优势的混交林最差, 这与实际观察到的植被生长状

表 2 土壤养分对树高生长的关联分析结果

Table 2 The result of grey relational analysis between nutrient factors and height of trees

样地 Samples	pH	全磷 Total phosphate	速效磷 Available phosphate	速效钾 Available kalium	碱解氮 Available nitrogen	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	腐殖质 Humus
1	0.868	0.988	0.686	0.613	0.466	0.467	0.481	0.357
2	0.343	0.334	0.356	0.475	0.628	0.757	0.607	0.808
3	0.491	0.497	0.549	0.447	0.869	0.842	0.875	0.933
4	0.471	0.535	0.584	0.758	0.471	0.471	0.471	0.656
5	0.485	0.488	0.470	0.512	0.806	0.791	0.878	0.611
6	0.508	0.461	0.695	0.461	0.809	0.937	0.902	0.949
7	0.462	0.425	0.535	0.515	0.691	0.715	0.732	0.780
8	0.488	0.502	0.465	0.478	0.633	0.599	0.562	0.442
9	0.906	0.983	0.844	0.797	0.510	0.528	0.534	0.503
10	0.441	0.722	0.534	0.407	0.954	0.847	0.800	0.538
11	0.827	0.701	0.655	0.678	0.437	0.515	0.463	0.935
12	0.943	0.738	0.807	0.527	0.416	0.429	0.410	0.895
13	0.545	0.451	0.506	0.752	0.668	0.596	0.573	0.988
14	0.494	0.460	0.459	0.499	0.785	0.678	0.786	0.841
15	0.475	0.416	0.480	0.697	0.658	0.592	0.683	1.000
16	0.828	0.877	0.853	0.734	0.425	0.451	0.483	0.601
17	0.487	0.459	0.475	0.668	0.700	0.715	0.765	0.830
ri	0.592	0.590	0.586	0.589	0.643	0.643	0.647	0.745

表 3 土壤养分对胸径、冠幅的关联分析结果

Table 3 The result of grey relational analysis between nutrient factors and perimeter at breast height or breadth of crown

项目 Items	pH	全磷 Total phosphate	速效磷 Available phosphate	速效钾 Available kalium	碱解氮 Available nitrogen	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	腐殖质 Humus
胸径 Perimeter at breast height	0.560	0.569	0.581	0.629	0.660	0.665	0.662	0.683
冠幅 Breadth of crown	0.439	0.434	0.462	0.525	0.695	0.708	0.692	0.591

况基本一致。

辽东栎为优势种的森林群落是该区的气候演替顶极(邹厚远等, 2002), 植被对土壤的作用时间较长, 其腐殖质层较厚, 林地保水性好, 有利于微生物的活动, 使枯枝落叶分解较快, 表现出比常绿针叶油松林的物质循环快, 其结果提高了土壤养分的含量, 这是辽东栎林土壤肥力高的主要原因之一。

样地 2、5、9、1 分别是 12 年、23 年、30 年、43 年的人工油松林, 林地地形相似, 植树前均为荒地, 以空间代替时间顺序来看, 人工油松林随着时间的推移, 并未表现出类似于落叶松(潘建平等, 1997)、蓝桉(何蓉等, 1998)、樟子松(刘明国等, 2002)等其他类型人工林的土壤肥力衰退的现象, 则表现为种植

20 多年时土壤肥力最高, 以后稍有降低, 但仍比种植 12 年时的高。可见, 人工油松林也有一定的改良土壤的作用, 这可能因为油松林是该区的亚演替顶极, 能在到达顶极之前保存很长时间的相对稳定(邹厚远等, 2002)。

样地 11、12 都是二十世纪 60 年代砍伐后, 在封山育林的基础上发展成的天然次生油松林, 但二者的土壤肥力并不高, 甚至比 1、5、9 样地的人工油松林还低。据调查, 在解放战争时期马栏林区曾被大量砍伐, 过度地放牧及砍伐给这里的植被带来了极大的破坏, 加之油松林是该地区主要的用材林, 因此遭到大量砍伐, 对林地植被和土壤破坏很大。同时, 样地 12 的肥力比样地 11 的低, 主要原因是样地 12

的坡度比样地 11 的大,容易引起土壤的流失加大,营养物质从土壤中流失的也必然就多。

表 4 马栏林区主要森林样地肥力综合评价排序
Table 4 The arrangement of comprehensive evaluation for soil fertility of main forest types in Malan Forest Region

样地 Samples	关联度 ri Grey correlation	各森林类型主要物种及其重要值 Name and important value of main species in every forest type
4	0.858	辽东栎(78)
8	0.805	辽东栎(70)
5	0.667	油松(76)
9	0.646	油松(89)
10	0.637	辽东栎(60)+山杨(18)
3	0.634	辽东栎(67)+鹅耳枥(17)
1	0.632	油松(70)
11	0.630	油松(64)+辽东栎(13)
6	0.627	山杨(47)+甘肃山楂(13)+漆树(10)
14	0.599	油松(38)+白桦(25)+茶条槭(15)
7	0.570	油松(33)+青榨槭(20)+辽东栎(19)
13	0.569	油松(66)+茶条槭(12)
17	0.568	辽东栎(60)+白桦(18)
12	0.559	油松(77)+辽东栎(12)
2	0.557	油松(73)
16	0.544	辽东栎(43)+白桦(31)
15	0.543	白桦(55)+辽东栎(13)+茶条槭(12) +山杨(12)

注:表中每树种后括号中的数字为样地中该乔木的重要值百分数,值小于 10 的种略去未写。

Note: The numbers bracketed behind the main species were important values, species were omitted, which the important values were under ten.

样地 13、14、15 为同一坡面上的三个样地,其结果表现为油松+白桦混交林(样地 14)比油松占优势的混交林(样地 13)及白桦占优势的混交林(样地 15)的肥力高;也就是说,针阔混交林的土壤肥力比针叶林和白桦占优势的阔叶林高。辽东栎+山杨混交林(样地 10)比山杨占优势的阔叶林(样地 6)肥力高。该结果与张鼎华等(2001)、苏波等(2001)、林瑞余等(2001)的混交林土壤肥力高于以其主要构成树种为优势种的林型的研究结论有相同之处。辽东栎+白桦混交林(样地 16、17)中辽东栎重要值百分数越大(样地 17),土壤肥力越高,这与辽东栎占优势的混交林肥力最高(样地 4、8)是一致的,是辽东栎林的土壤肥力特点,与张鼎华等(2001)的研究结论有所不同。

4 结论与讨论

根据灰色关联分析法所需要的样本数量较少的

特点,应用计算的关联度数据大小很好地排列出了影响马栏林区主要乔木树种生长的土壤因子的主次顺序,表明灰色关联分析可很好地用于生物与环境之间的关系研究。此外,根据灰色关联分析的基本思想,可以对森林土壤的养分状况进行科学的综合评价,所得的灰色关联度表示土壤肥力的大小和顺序。根据分析评价,得出结论如下:

(1)影响马栏林区优势层植物生长(树高、胸径、冠幅生长)的土壤因子为腐殖质层厚度和有机质,其次是全氮和碱解氮。根据该结果,在以后的野外调查时,可以通过对土壤腐殖质层厚度判断土壤的养分及其对植物生长的影响状况。在对该地森林抚育过程中,可根据氮素是三大营养元素中的主导因子的原理,适量地施以氮肥,以促进优势层植物的生长。

(2)顶极群落的结构稳定,在一个气候区内最占优势,占有发育最成熟的土壤(李博等,2000),自肥能力较强。在对该林区主要森林类型的肥力评价中,辽东栎为优势种的林型肥力最高,从一定程度验证了邹厚远等(2002)得出的结论——以辽东栎为优势种的森林群落稳定性高,是子午岭地区气候演替的顶极群落。而油松林和山杨占优势的混交林肥力居中,辽东栎与白桦的混交林较差,白桦占优势的混交林最差。

(3)用空间代替时间的方法探讨人工油松林的土壤肥力演变状况,发现种植 20 多年时土壤肥力最高,以后稍有降低,但仍比种植 12 年时的高。可见,人工油松林也有一定的改良土壤的作用,并未表现出类似于落叶松(潘建平等,1997)、蓝桉(何蓉等,1998)、樟子松(刘明国等,2002)等其他类型人工林的土壤肥力衰退的现象。对于人工油松林的土壤肥力的演变机制,我们将另文讨论。

(4)在二十世纪 60 年代封山育林的基础上发展成的天然次生油松林整体上比人工种植的油松林土壤肥力较低,这可能与历史时期向自然界过度索取、对林地植被和土壤破坏较大有关。此外,有的天然油松次生林坡度较大,易引起土壤的流失加大,营养物质从土壤中流失也必然较多,从而使土壤肥力较低。由此可见,在坡度较大地段上,森林砍伐后应及时种植或抚育,以免由于水土流失造成土壤肥力下降。

(5)油松+白桦混交林、辽东栎+山杨混交林的土壤肥力均比相应的油松及白桦分别占优势的混交林、山杨占优势的阔叶林的土壤肥力高。但辽东栎混交林比辽东栎为优势种的辽东栎林土壤肥力低,

且辽东栎重要值百分数越大,土壤肥力越高。表现出以辽东栎为优势种的群落分布在土壤肥力较高的地段,辽东栎可能对土壤肥力的增高有一定促进作用,这也可能是使其成为该地区顶级群落优势种的原因之一。

土壤肥力是植被和土壤相互作用的结果,受多种因素影响,在根据关联度进行肥力分析评价时,除了应该观察整体规律外,在样地间进行比较分析时,还应注意样地的可比性(如地形地貌特征的相似性、植被的种类组成、人工林种植前的植被状况、干扰等),才有可能得出比较客观的结论,为该林区森林植被的保护、抚育更新以及恢复和重建提供科学依据。如果对物种的生态学特性进行研究,尤其是对优势种的生态学特性进行深入研究,将能更有效地探讨植物与土壤环境的关系。

参考文献:

- 王学萌,张继忠,王 荣. 1996. 灰色系统分析及实用计算程序[M]. 武汉:华中科技大学出版社:2-24.
- 中国科学院南京土壤研究所. 1978. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社:63-151.
- 朱祖祥. 1983. 土壤学(上/下册)[M]. 南京:农业出版社:36-50.
- 刘光崧,蒋能慧,张连第,等. 1996. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社:31-165.
- 李 博,杨 持,林 鹏. 2000. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社:157.
- 鲍士旦. 2003. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京:中国农业出版社:25-83.
- 傅伯杰,陈利顶,邱 扬,等. 2002. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程[M]. 北京:商务印书馆:8-161.
- He R(何 蓉),Zeng FQ(曾芳群),Jiang YD(蒋云东),*et al.* 1998. Study on soil fertility of *Eucalyptus globulus* plantation(蓝桉人工纯林土壤肥力研究)[J]. *J Yunnan Fore Sci-Tech*(云南林业科技),**82**(1):67-72.
- Jiang WW(蒋文伟),Yu YW(俞益武),Jiang PK(姜培坤). 2002. Grey relational analysis and evaluation on main forest-soil fertility in Huzhou Region(湖州主要森林类型土壤肥力的灰色关联度分析与评价)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志),**21**(4):18-21.
- Li YX(黎云祥),Liu Z(刘 钊),Chen L(陈 利),*et al.* 1998. An analysis of grey relatedness between species diversity and ecological factors of degraded shrub and herbaceous communities in Nanchong suburbs(南充市近郊退化灌丛草坡群落物种多样性与环境因子灰色关联度分析)[J]. *J Sichuan Teachers Coll(Nat Sci)*(四川师范学院学报(自然科学版)),**19**(2):189-192.
- Lin RY(林瑞余),Cheng YX(陈银秀),Cheng GY(陈光永),*et al.* 2001. Primary study on soil fertility in mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum*(27年生杉木观光木混交林土壤肥力的初步探讨)[J]. *Soil Environ Sci*(土壤与环境),**10**(4):289-292.
- Liu MG(刘明国),Su FL(苏芳莉),Ma DR(马殿荣),*et al.* 2002. Decline reasons of pure *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and soil fertility(多年生樟子松人工纯林生长衰退及地力衰退原因分析)[J]. *J Shenyang Agric Univ*(沈阳农业大学学报),**33**(4):274-277.
- Pan JP(潘建平),Wang HZ(王华章),Yang XQ(杨秀琴). 1997. Research state and advance on soil degradation under larch plantation(落叶松人工林地力衰退研究现状与进展)[J]. *J Northeast Fore Univ*(东北林业大学学报),**25**(2):59-63.
- Pan KW(潘开文),Liu ZG(刘照光). 2001. Grey correlation and cluster analysis on relationship between *Cercidiphyllum japonicum* community and its environment(用关联度和聚类分析法研究连香树人工群落与环境的联系)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报),**12**(2):161-167.
- Qu GH(曲国辉),Guo JX(郭继勋). 2003. The relationship between different plant communities and soil characteristics in Songneng grassland(松嫩平原不同演替阶段植物群落和土壤特性的关系)[J]. *Acta Prataculturae Sin*(草业学报),**12**(1):18-22.
- Su B(苏波),Han XG(韩兴国),Qu CM(渠春梅),*et al.* 2001. Net nitrogen mineralization and nitrification in one pure pine (*Pinus tabulaeformis*) forest and one pine-oak mixed forest in Dongling Mountainous Region(东灵山油松纯林和油松-辽东栎阔混交林土壤氮素矿化/硝化作用研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报),**25**(2):195-203.
- Zhang DH(张鼎华),Zhai MP(翟明普),Lin P(林 平),*et al.* 2001. Humic substances characteristics of the mixed plantation of poplar and black locust in sandy soil(杨树刺槐混交林下沙质土壤腐殖物质特性)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学),**37**(3):58-63.
- Zou HY(邹厚远),Liu GB(刘国彬),Wang HS(王晗生). 2002. The vegetation development in North Ziwouling forest region in last fifty years(子午岭林区北部近50年植被的变化发展)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报),**22**(1):1-8.
- Zhou XY(周先叶),Wang BS(王伯荪),李鸣光((Li MG),*et al.* 1999. Analysis of the relatedness between dominant populations and ecological factors in secondary succession of forest communities in Heishiding Nature Reserve(黑石顶自然保护区森林次生演替中优势种与生态因子的关联度分析)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学),**7**(4):267-272.