缙云山水源涵养林保育土壤的功能

张向峰，王玉杰，王云琦，刘春霞，郭 平

（北京林业大学 水土保持学院，北京 100083）

摘 要：以重庆市缙云山 3 种典型水源涵养林为研究对象，分别对其土壤的物理、化学和养分特性进行测定和分析。结果表明：(1) 土壤容重均较高，其中竹林群落土壤容重相对较高；土壤总孔隙度均比较低，孔隙性一般；土壤质地中砂粒含量比粉粒和黏粒高；土壤均呈强酸性，说明该地区土壤酸化比较严重。(2) 土壤有机质含量均比较低，在土壤有机质积累方面，针阔混交林相对较好，而竹林群落相对较差；在土壤养分含量中，全氮含量一般，全磷和全钾含量较低；土壤速效养分均比较低。(3) 针阔混交林的保育土壤功能最好，竹林最差；针阔混交林水源林的土壤生态功能最好，常绿阔叶型水源林次之，竹林总体相对较差。

关键词：缙云山；水源涵养林；保育土壤

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)01-0068-06 **中图分类号**：S151.9

Soil Conservation Function of Water Conservation Forests in Jinyun Mountains

ZHANG Xiang-feng, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, LIU Chun-xia, Guo Ping

(*College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Three typical water conservation forests in Jinyun Mountains were taken as research objects. Soil physical and chemical properties and soil nutrient characteristics were measured and analyzed. Results show that: (1) The soil densities of the three forests were all great and the soil bulk density for bamboo forest was greater than those for other two forests. The total soil porosity for the three forests was relatively low and the porous of soil was in moderate level. For the soil texture, the sand content was higher than silt and clay contents. Soils in the forests were in strong acidity, which means that the soil acidification in the area is severe. (2) The soil organic matter content was relatively low and the accumulation of soil organic matter was better in mixed needle-broadleaf forest and poorer in bamboo forest. For the soil nutrients, the content of total nitrogen was moderate, the contents of total phosphorus and total potassium were lower, and the soil available nutrients were relatively low. (3) Soil conservation function of mixed needle-broadleaf forest was the best and the bamboo forest, the worst. Soil ecological function was the best for mixed needle-broadleaf forest, followed by mixed broadleaf forests, and the worst for bamboo forest.

Keywords: Jinyun Mountains; watershed forest; soil conservation

土壤不仅是人类赖以生存的物质基础和宝贵财富，又是人类最早开发利用的生产资料[1]。植被保育土壤的生态服务功能主要是通过植被保护土壤和改良土壤两个生态过程来实现。随着人类社会的快速发展，土地资源不断减少，土壤质量越来越差，土壤成为人们的研究对象，并得到越来越多人的重视。植物可以改变土壤特性，且对土壤的形成和发展影响很大，因而研究植物与土壤之间的关系意义重大。水源涵养林是具有特殊意义的水土保持防护林种之一，具有多种功能和不同的效益，它不但有森林普遍具有的生态效益、经济效益和社会效益，而且具有涵养保护水源，保育土壤等生态服务功能[2]。目前，关于缙云山水源涵养林保育土壤功能的研究甚少，且存在研究对象单一（单一林分）和调查数据少（建立在一次调查数据的研究）的问题。由于树木生长的周期较长，因此凭 1，2 次调查数据来评价森林保育功能是很困难

收稿日期：2012-01-04 修回日期：2012-04-22

资助项目：“十二五”农村领域国家科技计划课题“三峡库区典型区段长防林建设及质量调控技术”(2011BAD38B0403)；林业公益性行业科研专项“典型森林植被对水资源形成过程的调控研究”(201104005-01)

作者简介：张向峰(1985—)，男(汉族)，山西省长治市人，学士，硕士研究生，主要从事水土保持、山地灾害防治的研究。E-mail：z651584211@163.com。

通信作者：王玉杰(1960—)，男(汉族)，北京市人，博士研究生，教授，主要从事水土保持、山地灾害的研究。E-mail：wyujie@bjfu.edu.cn。

的,也不够准确[3]。为了深入了解缙云山各种水源涵养林对土壤的保育功能,在赵洋毅等[4]的基础上继续进行了为期 3 a 的调查研究,希望能更准确地研究缙云山典型水源涵养林功能,为该地区改良土壤和经营管理水源涵养林提供更准确的科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

缙云山位于重庆市北碚区嘉陵江温塘峡江畔,占地面积 76 km^2,海拔 350～951 m,地理坐标为东经 106°17′—106°24′,北纬 29°41′—29°52′。缙云山是国家级自然保护区,气候温和,雨量充沛,有森林 1 300 hm^2余,生长着 1 700 多种亚热带植物。缙云山的土壤以三迭纪须家河组厚层石英砂岩、炭质页岩和泥质砂岩为母质风化而成的酸性黄壤及水稻土,山麓地区为侏罗纪由紫色砂页岩夹层上发育的中性或微石灰性的黄壤化紫色土。缙云山森林覆盖率高,已达 96.6%。保护区内有大面积的常绿阔叶林,有多种具代表性的生态系统,从一定程度上反映出了中亚热带森林生态系统的天然本底,是一个典型的亚热带常绿阔叶林的生态综合体物种基因库。缙云山物种多样性丰富,有长江流域保存较好的典型的亚热带常绿阔叶林景观和相对稳定的生态系统,保存了许多古老的分类上孤立的形态特殊的植物。

1.2　试验区标准样地设置

研究区位于缙云山国家级自然保护区内,根据已有的资料和林地的实际情况,选择该区具有代表性的典型地段乔灌草完整的 3 种水源涵养林群落:针阔混交林、常绿阔叶林和竹林。在 2009—2011 年,对 3 种群落类型分别选取 5 种典型林分类型,每种典型林分选取 4 个标准样地(20 m×20 m),使用罗盘仪和测绳,按照一般方法进行标准地的边界测量,并且在各方形大样地 4 个角分别设置 1 个小水泥桩,作为标识。

1.3　测定方法

以缙云山 3 种典型水源涵养林的土壤作为研究对象,分别对 3 种典型水源涵养林林地土壤进行了测定,测定的主要指标有土壤容重、土壤颗粒组成、土壤孔隙、土壤活性酸 pH 值、土壤有机质含量、土壤全量养分和土壤速效养分等。在每个标准小样地中,均匀地取 9 点,分别挖取各点的土壤剖面,将土壤分为 4 层:Ⅰ(0—20 cm),Ⅱ(20—40 cm),Ⅲ(40—60 cm),Ⅳ(60—100 cm),按层采集土样。把所有土样分装,然后带回实验室风干、研磨,每层 3 个重复。用土壤三相测量仪(DIK 1150)测定土壤的容重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度;使用 pH—213 台式酸度离子计测定土壤 pH 值;采用重铬酸钾—外加热法测定有机质;采用半微量凯氏法测定土壤全氮,采用碱熔—钼锑抗比色法测定土壤全磷;采用碱融—火焰光度计法测定土壤全钾;采用碱解扩散法测定土壤速效氮;采用 NH_4F—HCl 浸提—钼锑抗比色法测定土壤速效磷;采用 CH_3COONH_4 浸提—火焰光度法测定土壤速效钾。

1.4　数据处理

试验取得的数据运用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 进行处理。

2　结果与讨论

2.1　林地土壤物理特性

2.1.1　土壤容重及孔隙　土壤容重是表征土壤质量的一个重要参数,其大小受土壤机械组成、结构、质地、有机质含量、植被类型以及人为等影响。

由表 1 可以看出,各林地土壤容重之间存在差异,不同层次的土壤容重也存在差异,且土壤容重随土层深度的增加而增大。各林地土壤容重在Ⅰ,Ⅱ层的差异性比较明显,在Ⅲ,Ⅳ层的差异性不明显,说明植被对上层土壤容重影响比下层土壤影响大,这主要是因为下层土壤紧实度比较高,植物根系不易到达。由表 2 可以看出,各林地土壤容重均比较大,其中竹林林地土壤容重最大,为 1.45 g/cm^3,表明竹林林地土壤相对较紧实,土壤孔隙相对较少;针阔混交林林地土壤容重最小,为 1.31 g/cm^3,说明针阔混交林林地土壤相对较疏松,孔隙相对较大。土壤容重从小到大的顺序依次为:针阔混交林<常绿阔叶林<竹林,其中竹林群落的土壤容重相对较大,这主要是因为竹林群落物种单一,人为活动较多,林分密度很大等。

土壤的孔隙可以为植物提供水和空气,包括毛管和非毛管孔隙。一般来说土壤中大小孔隙同时存在,总孔隙度约在 50%,其中非毛管孔隙占 1/5～2/5 为好,这种情况下土壤的通透性比较协调[5]。从表 1—2 可以看出,竹林群落、针阔混交林群落通透性要比常绿阔叶林要好,各林地和各层土壤总孔隙度差异不大,但均不高;各林地和各层土壤毛管孔隙度和非毛管孔隙度之间的差异比较明显,说明不同植被类型对毛管、非毛管孔隙具有一定的影响。土壤总孔隙度从大到小依为:是针阔混交林>常绿阔叶林>竹林。一般来讲,土壤容重小,表明土壤比较疏松,孔隙多;反之,则表明土壤比较紧实,结构性差,孔隙少[6]。从表 1—2 也可以看出,各林地基本符合此规律。

表 1 缙云山水源林典型林地不同层次土壤容重和孔隙度

土壤层次	林分类型	容重/(g·cm^{-3})	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
Ⅰ	针阔混交林	0.98±0.24	55.83±2.03	39.52±1.39	16.44±1.46
	常绿阔叶林	0.90±0.21	57.05±1.54	49.74±2.59	6.92±1.19
	竹 林	1.17±0.22	52.13±2.01	43.76±4.22	7.57±1.28
Ⅱ	针阔混交林	1.14±0.21	46.02±1.43	33.01±2.89	13.03±3.24
	常绿阔叶林	1.28±0.23	54.01±2.74	48.91±3.23	4.89±1.17
	竹 林	1.32±0.21	54.54±4.14	43.97±3.51	10.52±2.05
Ⅲ	针阔混交林	1.48±0.09	48.75±3.19	38.04±2.21	10.75±2.05
	常绿阔叶林	1.48±0.11	48.15±4.64	44.21±3.49	3.6±1.12
	竹 林	1.41±0.17	48.35±1.23	39.51±3.94	8.86±1.34
Ⅳ	针阔混交林	1.59±0.11	41.21±2.34	28.73±2.74	12.54±2.75
	常绿阔叶林	1.59±0.09	42.14±4.27	38.67±2.19	3.47±0.29
	竹 林	1.53±0.17	38.74±1.95	32.21±2.86	6.54±2.46

注:数值为平均值±标准差。下同。

表 2 缙云山水源林典型林地土壤平均容重及孔隙度

林分类型	容重/(g·cm^{-3})	毛管孔隙/%	非毛管孔隙/%	总孔隙度/%
针阔混交林	1.31	38.6	13.2	51.8
常绿阔叶林	1.36	45.4	4.7	50.1
竹 林	1.45	39.9	9.4	49.3

2.1.2 土壤颗粒组成 土壤是由大小、形状不同的固体组分和孔隙以一定形式连结所形成的多孔介质,固体组分的大小、数量、形状及其结合方式决定着土壤的质地与结构,进而影响土壤的水分和理化性质[7]。从表 3 可以看出,各林地不同层次土壤颗粒组成差异比较明显,土壤第Ⅰ层基本为砂质黏壤土,从第Ⅱ层开始出现壤质黏土且开始逐渐增多,表层土壤较粗且比较疏松,下层土壤比较细、黏度大且比较致密。土壤颗粒组成中砂粒所占的比例最大,不同层次土壤砂粒、粉粒和黏粒差异性明显。样地土壤质地可分为 4 类,分别为砂质壤土、砂质黏壤土、黏壤土和壤质黏土,主要是以壤土和壤质黏土为主。不同样地的土壤中,均表现为砂粒含量差别最大,粉粒含量差别最小。

表 3 缙云山水源林典型林地不同层次土壤颗粒组成和土壤质地

土壤层次	林分类型	砂粒/%(2～0.02 mm)	粉粒/%(0.02～0.002 mm)	黏粒/%(<0.002mm)	质 地
Ⅰ	针阔混交林	65.34±3.01	18.68±1.31	16.01±2.04	砂质黏壤土
	常绿阔叶林	57.61±2.02	19.74±1.16	18.65±1.55	砂质黏壤土
	竹 林	68.94±2.32	10.41±1.28	20.66±3.07	砂质黏壤土
Ⅱ	针阔混交林	53.34±4.78	28.68±3.15	18.03±1.91	黏壤土
	常绿阔叶林	51.23±2.14	19.54±3.84	22.21±1.71	砂质黏壤土
	竹 林	53.28±2.06	22.86±1.21	23.85±2.21	黏壤土
Ⅲ	针阔混交林	49.34±3.06	34.00±2.01	16.68±2.31	黏壤土
	常绿阔叶林	39.61±2.01	26.41±1.22	26.01±1.97	壤质黏土
	竹 林	50.13±3.12	24.22±1.39	25.67±1.85	黏壤土
Ⅳ	针阔混交林	43.32±2.97	36.68±2.24	20.01±1.95	黏壤土
	常绿阔叶林	47.94±1.12	21.03±1.15	26.04±1.98	壤质黏土
	竹 林	44.91±2.29	29.76±2.32	25.31±2.22	壤质黏土

土壤颗粒机械组成是土壤最基本的物理属性之一,土壤质地砂粒化程度是反映土壤质量的重要指标[8]。一般情况,人们常用黏粒含量作为土壤定量评价的主要指标,因此,根据各样地土壤黏粒含量从大到小依次为:竹林>常绿阔叶林>针阔混交林。

2.2 林地土壤化学特性

2.2.1 土壤活性酸 土壤活性酸是林地土壤化学特性的重要指标,影响着林地土壤养分的有效性[9]。土壤酸碱度对土壤中养分存在的形态和有效性,对土壤的理化性质、微生物活动以及植物生长发育都有很大

的影响[10]。由表 4 可以看出,缙云山水源涵养林林地土壤 pH 值差异性不明显,基本在 4.0 左右,但上层土壤酸性要比下层强,这主要是因为研究地区受酸雨危害比较严重,降雨比较充沛,表层土壤受酸雨淋溶的影响,植被对土壤 pH 值的调节不是很明显。另外,土壤 pH 值的大小与残落物分解不完全和降雨量的大小有密切的关系。

缙云山地区年降雨量较大,这是导致该地区土壤 pH 值较低的原因之一;阔叶林残落物较多,不容易分解,这也导致了阔叶林地土壤 pH 值相对较低,所以,可以从这两方面来考虑营造水源涵养林,以提高该地区土壤 pH 值,改善土壤质量。

表 4　缙云山典型水源林地各层土壤养分指标均值

土壤层次	林分类型	pH 值	有机质/(g·kg^{-1})	全 N/(g·kg^{-1}1)	全 P/(g·kg^{-1})	全 K/(g·kg^{-1})	速效 N/(mg·kg^{-1})	速效 P/(mg·kg^{-1})	速效 K/(mg·kg^{-1})
Ⅰ	针阔混交林	3.84±0.25	30.25±4.51	1.15±0.41	0.27±0.04	12.05±1.70	84.83±10.30	1.31±0.51	53.88±7.34
	常绿阔叶林	4.03±0.03	24.18±7.54	2.32±1.89	0.40±0.30	11.95±0.03	90.70±10.50	6.51±0.97	46.22±11.05
	竹 林	4.41±0.18	20.81±0.79	1.34±0.03	0.35±0.01	5.54±0.76	90.35±1.82	5.51±0.32	35.74±1.75
Ⅱ	针阔混交林	3.89±0.13	11.06±1.94	0.65±0.13	0.20±0.05	15.44±4.51	71.35±1.05	0.40±0.05	34.64±4.34
	常绿阔叶林	4.05±0.15	4.42±1.33	1.08±0.82	0.37±0.30	14.25±0.32	82.60±7.45	1.92±0.45	24.36±4.23
	竹 林	4.73±0.24	11.31±0.64	0.83±0.05	0.30±0.10	5.69±0.31	50.90±1.05	3.21±0.06	15.83±1.70
Ⅲ	针阔混交林	3.98±0.12	6.36±0.71	0.50±0.11	0.14±0.01	10.65±1.01	64.53±1.10	0.35±0.08	17.92±3.30
	常绿阔叶林	4.32±0.06	1.05±0.02	1.33±0.08	0.64±0.08	13.46±0.76	78.25±1.22	3.44±0.32	20.81±1.74
	竹 林	4.42±0.15	6.32±0.14	0.45±0.01	0.13±0.05	12.12±0.44	72.70±1.80	0.32±0.04	12.92±0.75
Ⅳ	针阔混交林	3.95±0.02	5.54±0.06	0.44±0.09	0.13±0.04	10.33±0.91	57.32±2.50	0.33±0.06	17.64±2.15
	常绿阔叶林	4.19±0.14	0.87±0.03	0.49±0.02	0.10±0.01	9.04±0.04	13.75±1.84	0.32±0.05	10.84±1.24
	竹 林	4.65±0.08	2.04±0.03	0.49±0.04	0.14±0.07	5.95±0.54	31.71±2.10	1.15±0.06	19.55±0.66

2.2.2　**土壤有机质含量**　土壤有机质是指存在于土壤中的所有含碳的有机物,尽管土壤有机质只占土壤总重量的很小部分,但它在土壤肥力、环境保护等方面有着重要的作用和意义。土壤有机质是土壤的重要组成部分,也是土壤质量指标中最重要的指标之一[11-12]。由表 4 可以看出,各林地第Ⅰ层土壤有机质含量明显高于其他 3 层,各层之间差异性非常明显($p<0.05$),且随着土壤深度的增加而逐渐降低,这主要是因为森林土壤中的有机质主要来源于森林植被凋落物的分解和淋溶。根据全国土壤养分含量分级标准《第二次全国土壤普查技术规程》,可以得出针阔混交林、阔叶林样地土壤有机质含量为中等水平(20～30 g/kg),竹林样地土壤有机质含量为缺(6～10 g/kg),说明在土壤有机质的积累方面,针阔混交林表现较好,竹林群落有机质含量总体较低,表现较差。

2.3　林地土壤养分特性

2.3.1　**土壤全量养分**　氮、磷、钾是目前公认的绝大多数植物必需元素,是植物需要的大量元素,所以氮、磷和钾就成为评定土壤养分好坏的 3 个重要的指标[13]。

由表 4 可以看出,各林地不同层次土壤全氮、全磷、全钾含量不同,其中阔叶林林地含量最高,竹林含量最低,且各林地土壤全氮含量随着土壤深度的增加而逐渐降低。根据全国土壤养分含量分级标准,阔叶林林地土壤全氮含量水平属于中等(1.0～1.5 g/kg),竹林样地土壤全氮含量水平属于稍缺(0.75～1.0 g/kg),针阔混交林样地土壤全氮含量水平属于缺(0.5～0.75 g/kg);阔叶林和竹林样地土壤全磷含量水平属于缺(0.2～0.4 g/kg),针阔混交林为极缺(<0.2 g/kg);竹林、阔叶林林地土壤全氮含量水平属于缺,针阔混交林属于稍缺。

土壤中全氮、全磷、全钾含量的高低可以反映土壤总体供氮能力的大小,其主要受气候、植被、土壤质地、地形、地势和栽培管理等因素影响。由表 4 可以看出,阔叶林林地土壤总体供氮能力最好,竹林样地土壤总体供氮能力最差。总体来说,缙云山典型水源涵养林土壤全氮、磷、钾养分含量比较低,各林分间含量不同,其中阔叶林含量相对要高于其他林分。

2.3.2　**土壤速效养分**　土壤速效氮、磷、钾含量的高低,直接关系到土壤结构的好坏,土壤供肥能力的强弱[14]。由表 4 可以看出,各样地不同层次的土壤速效养分差异性明显,且随着土壤深度的增加而降低,其中第Ⅰ表层土壤速效养分明显高于其他 3 层。根据全国土壤养分含量分级标准,3 种水源涵养林土壤速效氮均属于稍缺(60～90 mg/kg);土壤速效磷均基本小于 5 mg/kg,属于缺或极缺;各林地土壤速效钾含量均小于 50 mg/kg,属于缺或极缺。

由以上分析可以看出,缙云山典型水源林地土壤速效养分含量非常低,尤其是速效 P 养分。对于这种

土壤速效养分严重缺乏的情况，可以通过改良土壤酸化和补充氮磷钾等措施来达到提高速效养分水平的目的。

3 典型水源林保育土壤功能评价

林地土壤物理特征和化学特征的定性和定量分析结果显示，根据单指法很难判定出缙云山各水源涵养林保育土壤的好坏。目前，对林地土壤质量或健康评价的方法很多，本文采用多层次模糊评价法来判定各水源涵养林保育土壤的好坏。

3.1 原理和方法

(1) 确定评判对象的因素集并将因素集按某种属性分成 n 个子集，记作 $X_1, X_2, \cdots, X_n$，满足：

$\bigcup_{i=1}^{s} X_i = x, X_i \cap X_j = \varphi (i \neq j)$。

设每个子集

$X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \cdots, X_{imi}\}$ $(i=1,2,\cdots,s), \sum_{i=1}^{s} b \cap i = n$。

(2) 对每个 X_i 按一级模型分别进行综合评判。设评判集 $Y=\{y_1, y_2, \cdots, y_m\}$，建立一个 X 到 Y 的模糊映射 $f: x_i \rightarrow r_{i1}/y_1 + r_{i2}/y_{21} + \cdots 1 + r_{im}/y_m$ $(0 \leqslant r_{i1} \leqslant 1, i=1,2,\cdots,n_i; j=1,2,\cdots,m)$，由 f 导出模糊关系 $\boldsymbol{R}_i$，$\boldsymbol{R}_i$ 为单因素评判矩阵，记为

$$\boldsymbol{R}_i = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ r_{mi1} & r_{mi1} & \cdots & r_{mim} \end{bmatrix}$$

(3) 若 x_i 中各因素的权重分配为 $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{imi})$，这里 $\sum_{i=1}^{n} a_{ij} = 1$，那么第一级综合评判为：$b = a_i \times \boldsymbol{R}_i = (b_{i1}, b_{i2}, \cdots, b_{im})$，$(i=1,2,\cdots,s)$

(4) 将每个 x_i 作为一个元素看待，用 b_1 作为它的单因素评判，这样 $\boldsymbol{R} = (b_1, b_1, \cdots b_i)^T = (b_{ij}) s \times m$（$T$ 表示转置），是 $\{x_1, x_2, \cdots, x_s\}$ 的单因素评判矩阵，每个 x_i 作为 X 中的一部分反映了 X 的某种属性。根据它们的权重分配 $a = (a_1, a_2, \cdots, a_s)$，于是有第二级综合评判 $b = a \times \boldsymbol{R} = (b_1, b_1, \cdots, b_m)$。

(5) 根据最大隶属法则，选取 b 中最大者为在同时考虑多种因素时土壤质量的评判等级。

3.2 综合评判

模糊综合评判的合成运算有若干种方法，各种方法有各自的特点和适用情形，常用的算法是主要因素决定型和加权平均型。采用加权平均决定型，$b.\mathrm{M}(.,\oplus)$ 模型，其运算公式为：

$$b = \min\{1, \sum_{i=j}^{n} a_i r_{ij}\} \quad (j=1,2,\cdots,m)$$

(1) 对各评价指标值进行标准化；(2) 通过因子分析确定各评价指标的权重；(3) 通过加权法计算各林分所有评价指标的累计得分。

根据缙云山水源涵养林土壤特性、评价指标筛选原则，选取毛管孔隙度、非毛管孔隙度、容重、黏粒含量、pH 值、有机质、全效养分、速效养分为评价指标。将土壤评判因素集划分为 3 个子集，土壤物理因素＝(毛管孔隙度，非毛管孔隙度，容重，黏粒含量)，化学因素＝(pH 值)，养分因素＝(有机质，全效养分，速效养分)。土壤各因素对其质量的影响是不同的，因此需要进行权重的分配，通过统计方法确定各因素的权重，各因素权重如表 5 所示。

表 5 典型水源涵养林保养土壤功能评价因素权重

二级因素(权重)	物理(0.54)				化学(0.08)		养分(0.38)	
一级因素(权重)	毛管孔隙度 (0.11)	非毛管孔隙度 (0.13)	容重 (0.16)	黏粒含量 (0.14)	pH 值 (0.08)	有机质 (0.12)	全效分 (0.14)	速效养分 (0.12)

根据上述评判原理方法，可以得出各水源涵养林地林地综合得分大小依次为：针阔混交林(0.42)＞常绿阔叶林(0.39)＞竹林(0.32)，说明各水源涵养林林地的保育土壤功能存差异，其中，针阔混交林的保育土壤功能最好，竹林最差。

4 结 论

(1) 缙云山典型水源林地土壤容重有一定的差异，但各林地土壤容重均比较高，其中竹林群落容重相对较高，其大小顺序为：针阔混交林＜常绿阔叶林＜竹林；土壤总孔隙度差异不大，土壤孔隙性一般，其大小顺序依次为：针阔混交林＞常绿阔叶林＞竹林；土壤质地中砂粒含量比粉粒和黏粒要高。总的来说，不同植被类型对土壤物理性质影响不同，对土壤质量的影响也不同，但对比前人的研究结果，土壤物理性质变化不大，但有下降的趋势。

(2) 缙云山典型水源林地土壤呈强酸性(pH 值均在 4 左右)，且土壤有机质含量多数处于稍缺或缺的状况，少数处于中等水平。土壤 pH 值大小顺序依次为：竹林＞针阔混交林＞常绿阔叶林，但各样地之间差异不明显；对于土壤有机质含量来说，各样地之间差异性比较明显；在土壤有机质积累方面，针阔混交林相对较好，而竹林群落相对较差。

(3) 缙云山水源林地土壤全量养分含量较低，各

林地间存在差异，其中针阔混交林、常绿阔叶林含量相对要高一点，其供氮能力要好一些；土壤速效养分含量低，基本属于稍缺或缺，土壤速效磷和土壤速效钾含量均属于稍缺或缺。

(4) 缙云山水源涵养林林地的保育土壤功能存在差异，其中针阔混交林水源林的土壤生态功能最好，常绿阔叶型水源林次之，以竹林总体相对较差，这与前人研究结果一致。

总的来说，对比分析前人研究结果，缙云山水源涵养林土壤质量稍微有下降的趋势，虽然不是很明显($p>0.05$)，但当地政府也应该加强对缙云山水源涵养林的管理，适当的增加针阔混交林，改善土壤质量，尽早控制这种趋势。

[参 考 文 献]

[1] 陈小红，段争虎. 土壤碳素固定及其稳定性对土壤生产力和气候变化的影响研究[J]. 土壤通报，2007，38(4)：765-772.

[2] 高成德，余新晓. 水源涵养林研究综述[J]. 北京林业大学学报，2000，22(5)：78-28.

[3] 杨承栋. 森林土壤学科研究进展与展望[J]. 土壤学报，2008，45(5)：881-891.

[4] 赵洋毅. 缙云山水源涵养林结构对生态功能调控机制研究[D]. 北京：北京林业大学，2011.

[5] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京：中国农业出版社，2000：96-103.

[6] 王庆礼，代力民，许广山. 简易森林土壤容重测定方法[J]. 生态学杂志，1996，15(3)：68-69.

[7] Tyler S W，Wheatcrafu S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation[J]. Soil Science Society of American Journal，1989，53(4)：987-996.

[8] 常庆瑞，安韶山，刘京，等. 黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J]. 水土保持学报，1999，5(4)：6-10.

[9] 王海燕，雷相东，陆元昌，等. 海南 4 种典型林分土壤化学性质比较研究[J]. 林业科学研究，2009，22(1)：129-133.

[10] 檀满枝，詹其厚，陈杰. 基于信息熵原理的土壤 pH 影响因素空间相关性分析[J]. 土壤，2007，39(6)：953-957.

[11] 李海波，韩晓增，王风. 长期施肥条件下土壤碳氮循环过程研究进展[J]. 土壤通报，2007，38(2)：384-388.

[12] 王俊美，欧阳捷，尚倩，等. 土壤有机质研究中的核磁共振技术[J]. 波普学杂志，2008，25(2)：287-295.

[13] 刘克锋，刘建斌，贾月慧. 土壤、植物营养学与施肥[M]. 北京：气象出版社，2006：173-235.

[14] 高志勤，傅懋. 毛竹林土壤速效养分的季节变化特征[J]. 竹子研究汇刊，2008，27(2)：25-31.

(上接第 67 页)

[参 考 文 献]

[1] 赵由才，柴晓利，牛冬杰. 矿化垃圾基本特性研究[J]. 同济大学学报，2006，34(10)：1360-1364.

[2] 王军辉，方海兰，赵由才，等. 城市生活污泥和矿化垃圾在绿地中的应用[J]. 上海城市发展，2005(5)：54-55.

[3] 徐勤，黄仁华. 二次开发综合利用老港处置场的探讨[J]. 环境卫生工程，2004，10(1)：21-24.

[4] 黄本生，王里奥，李晓红. 三峡库区生活垃圾的调查分析[J]. 上海环境科学，2003，22(6)：423-429.

[5] 袁雯，方海兰，赵由才. 矿化垃圾的重金属淋溶试验研究[J]. 环境卫生工程，2007，15(2)：34-38.

[6] 范英宏，陈兆华，程建龙，等. 中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术[J]. 生态学报，2003，23(10)：2144-2152.

[7] 杨秀红，胡振琪，张学礼. 粉煤灰充填复垦土地风险评价及稳定化修复技术[J]. 科技导报，2006，213(3)：33-35.

[8] 樊文华，白中科，李慧峰，等. 复垦土壤重金属污染潜在生态风险评价[J]. 农业工程学报，2011，27(1)：348-354.

[9] 陈翠翠，梁锦陶，韩玉兰，等. 太原市敦化污灌区重金属污染的潜在生态风险评价及垂直分布特征[J]. 中国农学通报，2010，26(10)：314-318.

[10] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control：A sediment logical approach[J]. Water Research，1980，14(8)：975-1001.

[11] 贾振邦，梁涛，林健枝，等. 香港河流重金属污染及潜在生态危害[J]. 北京大学学报，1997，33(4)：485-492.

[12] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京：中国环境科学，1990：331-457.

[13] 中国国家标准化管理委员会. (GB 15618-1995)土壤环境质量标准[S]. 北京：中国标准出版社，1995：2-3.

[14] 陈峰，胡振琪，柏玉，等. 矸石山周围土壤重金属污染的生态评价[J]. 农业环境科学学报，2006，25(S)：575-578.

[15] 胡国成，许木启，许振成，等. 府河—白洋淀沉积物中重金属污染特征及潜在风险评价[J]. 农业环境科学学报，2011，30(1)：146-153.

[16] 马智宏，王纪华，陆安祥，等. 京郊不同剖面土壤重金属的分布与迁移[J]. 河北农业大学学报，2007，30(6)：11-15.