

# 宝天公路沿线土壤质量及植物物种多样性

李有文<sup>1,2</sup>, 王晶<sup>1</sup>, 查向浩<sup>1</sup>, 张胜楠<sup>1</sup>, 巨天珍<sup>3</sup>

(1. 喀什大学 化学与环境科学学院, 新疆 喀什 844000; 2. 新疆生物类固废资源化工程技术研究中心, 新疆 喀什 844000;  
3. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**选取宝天高速公路沿线天然林、次生林、人工林各 7 个样地采集土样和调查植被,研究了不同土地利用方式下森林土壤环境质量和群落植物的多样性,探讨了土壤性质及地形条件等生境因子对植物多样性的影响。结果表明:与甘肃小陇山天然林相比,宝天高速公路沿线森林土壤有机质、含水量、速效氮和速效磷平均含量分别下降了 47.34%、56.08%、82.38%、36.27%;而土壤 pH 和速效钾含量分别增加了 16.48%和 47.14%。参照全国土壤养分分级标准,研究区土壤有机质、速效磷和速效钾的含量处于中上水平,而速效氮较缺乏。内梅罗指数表明,土壤综合肥力系数表现为对照组(2.09)>天然林(1.50)>次生林(1.30)>人工林(1.12)。主成分分析表明,坡度和海拔是影响宝天高速公路沿线森林群落植物多样性差异的主要地形因子;土壤有机质、速效氮、速效钾等养分含量和土壤 pH 是影响森林群落植物多样性的间接因子。

**关键词:**高速公路;土壤质量;植物多样性;主成分分析

**中图分类号:**S 718.51 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)17-0125-07

高速公路作为经济发展的产物,已然成为不同城市之间相互沟通的主要交通脉络,是评判一个国家是否具有现代化水平的重要指标,现今英、法、美等许多资本主义国家都正在建设或已经建成了自己的高速公路网络<sup>[1]</sup>。随着城市经济的发展和现代交通化进程的加快,我国高速公路网络建设的规模持续增大。虽然近年来高速公路给我国的经济带来了飞速的发展,但高速公路的建设和运营对周边的生境产生了一定的影响,破坏了原有生态结构的稳定性和完整性,也一定程度的限定了公路周边城乡的可持续发展。高速公路建设和运营对生态环境的影响主要为周边土壤结构和质地的破坏、土壤养分的缺失、土壤微生物多样

性以及公路沿线动植物的分布等方面<sup>[2-4]</sup>,特别是高速公路沿线生态脆弱或敏感地带的生态环境更是人们关注的焦点。为此,全球对高速公路的绿化、植被恢复与保护越来越重视,发达国家在公路周边绿化方面做了较深入的探究,在减少公路污染、水土保持和环境美化等方面取得了显著成效<sup>[5]</sup>。我国在高速公路绿化、生态恢复与保护等方面的研究起步相对滞后,在 20 世纪 90 年代,我国沿海地区高速公路运营与生态环境之间的矛盾逐渐突出,日益引起了政府部门和生态保护组织的重视,不断为高速公路绿化和周边生态保护增加养护资金,借鉴国外先进的技术理念,越来越多的专家和学者加入了研究高速公路建设和运营对周边生态环境影响的队伍。

该研究针对靠近生态脆弱区一小陇山自然保护区的宝天高速公路甘肃天水段,基于前人路域生态系统受损研究和森林群落生态监测体系的建立<sup>[6-7]</sup>,进一步探究公路运营对周边森林土壤环境和植物的影响,通过对自然、人工植被及其土壤环境的调查,分析公路沿线森林土壤养分及肥

**第一作者简介:**李有文(1987-),男,甘肃白银人,硕士,助教,研究方向为城市生态及土壤污染与评价。E-mail:125864826@qq.com.

**责任作者:**巨天珍(1965-),女,硕士,教授,硕士生导师,研究方向为城市生态。E-mail:1060162077@qq.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(41161080)。

**收稿日期:**2017-04-06

力状况,调查森林植被的多样性,探索生境因子对森林植被多样性的影响和耦合规律,完善了宝天高速公路路域环境基础研究资料,更加全面揭示高速公路建设及运营与路域生态系统之间的博弈关系,为小陇山国家自然保护区路域生态恢复和环境保护提供理论依据,同时为高速公路绿化建设、植被的恢复与保护提供了新的思路,促进了高速公路绿化的理论与实践研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

选择宝天高速公路—甘肃天水段为调查研究区,起始于太阳山隧道,途中主要穿过甘泉、燕子关、仙人崖、牧马滩、党川、小陇山等隧道,终止于麦积山隧道。调查区位于北纬  $34^{\circ}17.902'$  ~  $34^{\circ}28.485'$ ,东经  $105^{\circ}42.21'$  ~  $106^{\circ}23.412'$ ,海拔  $700\sim 2\,500\text{ m}$  的秦岭西部山地,坐落于我国暖温带南缘到北亚热带之间,多为半湿润大陆性季风气候类型,年均降雨量  $460\sim 800\text{ mm}$ ,年平均气温  $7\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,土壤大多是轻土、壤土和轻壤土<sup>[8]</sup>,公路沿线森林土壤 pH  $5.85\sim 8.30$ ,有机质、含水量、氮、磷等土壤养分含量相对小陇山自然保护区低,沿线森林土壤微生物细菌的数量最多,放线菌数量相对较少,真菌数量相比最少<sup>[9]</sup>。

研究区乔木树种以锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、华山松(*Pinus armandii* Franch)为主;灌木物种以栓翅卫矛(*Euonymus phellomanus* Loes)、白檀(*Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq.)、针刺悬钩子(*Rubus pungens* Camb.)、金银忍冬(*Lonicera maackii* (Rupr.) Maxim)为主;草本层植物以细叶苔草(*Carex rigescens*)、茜草(*Rubia cordifolia* L.)、打火草(*Anemome tomentosa*)、猬草(*Asperella duthiei* Stapf.)为主。调查发现,天然林林相优良,部分林地有野山羊活动的痕迹;次生林林相整齐,但部分坡度较大;部分人工林位于村庄附近,人畜活动较频繁。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地的选择

2014年3—5月,在宝天高速公路甘肃天水段秦州区太阳山隧道和麦积山隧道之间,沿公路两边易受污染的100 m范围内的21块典型样地进行调查研究,采样区主要空间分布位置见图1。包括人工林、次生林和天然林各7块,依据林分 and 地形条件,每块样地设置大小均为  $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ ,样地调查因子主要为:海拔、树高、胸径、坡向、坡位、坡度、土壤 pH、含水量、有机质、速效氮、速效磷、速效钾等养分和土壤微生物数量。

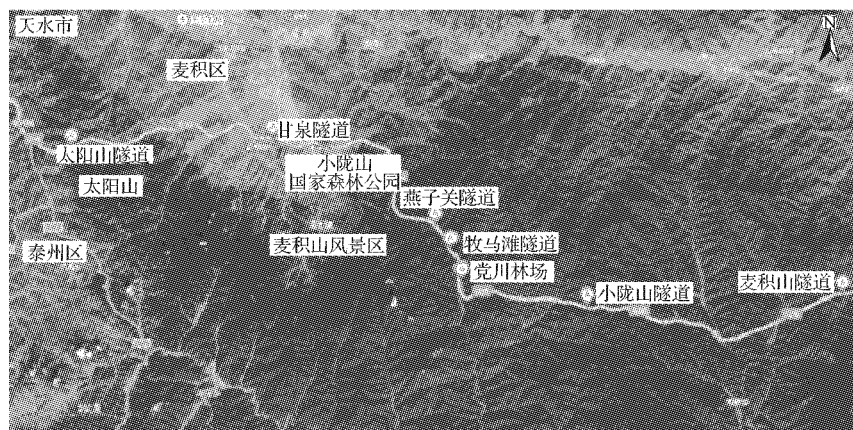


图1 采样点空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of sampling point

#### 1.2.2 土样的采集

在公路沿线21个样区内,每个采样区用棋盘式布点,按四分法取样。每一样方的土样在采集时去除地表覆盖物,并铲除表面表土(厚度大约为1 cm即可),避免地表杂物与土样混杂,用取土器

对林地表层土(0~20 cm)进行取样,然后均匀混合装入样品袋里,附上标签,在标签上标记好采样点地理坐标、采样时间、采样植被类型以及采样点离公路的距离,并编号,送至实验室。样品经自然风干,去砂砾、植物根系等异物,用木棍将样品压

碎、研磨、过筛,保存待测定。

### 1.3 项目测定

#### 1.3.1 土壤理化性质的测定

土壤含水量测定采用烘干法;土壤 pH 测定采用玻璃电极法 GB 6920-86(水土比为 2.5:1);有机质含量测定采用重铬酸钾容量法( $0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ 1/6 K}_2\text{CrO}_7$ )-外加热法;速效氮含量测定采用碱解扩散法;速效磷含量测定采用碳酸氢钠( $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )浸提-钼锑抗比色法;速效钾含量测定采用乙酸铵-原子吸收分光光度法。对照组土壤理化性质数据源于靠近宝天高速公路的小陇山国家级自然保护区<sup>[9]</sup>。

#### 1.3.2 土壤综合肥力指数计算

根据文献报道,土壤综合肥力的指数采用修正的内梅罗公式计算<sup>[10-12]</sup>。原始数据的标准化公式如下:

当土壤养分含量为  $c_i \leq x_a$  (较差)时,  $P_i = c_i / x_a$  ( $P_i \leq 1$ );当土壤养分含量为  $x_a < c_i \leq x_c$  (中等)时,  $P_i = 1 + (c_i - x_a) / (x_c - x_a)$  ( $1 < P_i \leq 2$ );当土

壤养分含量为  $x_c < c_i \leq x_p$  (较好)时,  $P_i = 2 + (c_i - x_c) / (x_p - x_c)$  ( $2 < P_i \leq 3$ );当土壤养分含量为  $c_i > x_p$  (很好)时,  $P_i = 3$ 。

式中:  $P_i$  为土壤某一养分的肥力系数;  $c_i$  为该养分的实测值;  $x$  为该养分的分级标准,以全国第二次土壤普查结果(表 1)为参考标准。  $x_a$ 、 $x_c$  和  $x_p$  依次为国家土壤三级、二级和一级。土壤肥力状况通过修正后的内梅罗公式对其进行计算和评价,修正的内梅罗公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{(\bar{P}_i)^2 + (P_{i\min})^2}{2}} \times \left( \frac{n-1}{n} \right)$$

式中:  $P$  为评价土壤的综合肥力;  $\bar{P}_i$  为土壤各养分肥力系数的平均值;  $P_{i\min}$  为土壤各养分肥力系数中的最小值;  $n$  为选定的评价土壤肥力的养分指标个数。

根据  $P$  值定量分析土壤的肥力。当  $P \geq 2.7$  时,表示土壤很肥沃;当  $1.8 \leq P < 2.7$  时,表明土壤肥沃;当  $0.9 \leq P < 1.8$  时,表示土壤肥力为中等;当  $P < 0.9$  时,表示土壤比较贫瘠。

表 1

土壤各养分的分级标准值

Table 1

Standard value of soil nutrients

土壤属性 Soil properties	国家三级标准 National three level standard ( $x_a$ )	国家二级标准 National secondary standard ( $x_c$ )	国家一级标准 National primary standard ( $x_p$ )
有机质含量 Organic matter content/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	10	20	30
速效氮含量 Available nitrogen content/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	60	120	180
速效磷含量 Available phosphorus content/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	5	10	20
速效钾含量 Available potassium content/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	50	100	200
pH < 7.0	4.5	5.5	6.5
pH > 7.0	9.0	8.0	7.0

#### 1.3.3 植物多样性调查

1)物种丰富度。物种丰富度(S)=出现在样地中的物种个体数目。由于森林植被草本层和灌木层个体数目难以计算,个体数作为多样性测度指标可能会引起较大的误差。因此,群落物种总数量用其重要值代替<sup>[8]</sup>。

2)物种多样性指数。目前国际上应用的群落物种多样性的测度指标很多<sup>[13]</sup>。该研究采用的指标是 Simpson 指数、Shannon-weiner 指数等。  
①Simpson 指数,又称为优势度指数,公式为  $D = 1 - \sum P_i^2$ 。  
②Shannon-weiner 指数,公式为  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 。

3)均匀度。采用传统的 Pielou 指数表示植物物种的均匀度<sup>[14]</sup>,即:基于 Shannon-wiener 指数,  $J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / LNS$ 。根据 Simpson 优势度指数,  $J_s = (1 - \sum P_i^2) / (1 - 1/S)$ 。

以上公式中  $P_i = N_i / N$ 。  $N_i$  为某一样地中第  $i$  种植物存活的个体数量;  $N$  为样地内不同植物物种的所有个体数目。

### 1.4 数据分析

调查与试验数据通过 Excel 2007 软件进行处理,SPSS 19.0 软件进行描述性和主成分分析,并用 SPSS 和 Origin 软件制作相关图。

## 2 结果与分析

### 2.1 研究区土壤养分总体情况

表2结果表明,公路沿线土壤 pH 平均值为 7.42,总体表现为中性偏碱性;土壤含水量、pH、有机质、速效氮、速效磷和速效钾含量平均值分别为 12.11%、7.42 g·kg<sup>-1</sup>、29.65 g·kg<sup>-1</sup>、23.59 mg·kg<sup>-1</sup>、19.59 mg·kg<sup>-1</sup>和 181.98 mg·kg<sup>-1</sup>,与对照组小陇山国家级自然保护区相比,其中土壤有机质、含水量、速效氮和速效磷平均含量分别下降了 47.34%、56.08%、82.38%、36.27%;而土壤 pH 和速效钾含量分别增加了 16.48%和 47.14%。

表 2

土壤养分各元素含量统计性描述

Table 2

Statistical description of the content of soil nutrients

项目 Item	土壤含水量 Soil moisture content/%	pH	有机质含量 Organic matter content /(g·kg <sup>-1</sup> )	速效氮含量 Available nitrogen content /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷含量 Available phosphorus content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾含量 Available potassium content/(mg·kg <sup>-1</sup> )
极小值 Minimum value	0.77	5.85	3.00	8.20	2.76	88.60
极大值 Maximum value	29.57	8.30	64.00	83.50	86.52	403.70
均值 Average value	12.11	7.42	29.65	23.59	19.59	181.98
对照组 Control group <sup>[9]</sup>	27.57	6.37	56.30	133.86	30.74	123.68

### 2.2.2 土壤肥力综合评价

根据高速公路沿线不同林型的土壤肥力综合系数,天然林肥力系数最大,而人工林系数最小,与对照组相比,人工林、次生林和天然林的 *P* 值分别降低 46.41%、37.80%和 28.23%。不同土

### 2.2 不同土地利用类型土壤肥力评价

#### 2.2.1 单项指标的评价

高速公路沿线不同土地利用方式下土壤养分含量分别与国家土壤养分含量调查等级对比<sup>[15]</sup>,结果表明,天然林有机质等级为国家二级,次生林和人工林为国家三级;公路沿线各类型土壤速效氮均很低,天然林的含量水平仅位于国家五级,次生林和人工林仅处于国家六级;不同土地利用方式下土壤速效磷含量均较高,属于国家二级;不同土地利用方式下土壤速效钾的含量都比较高,其中人工林水平属于国家一级,而次生林和天然林属于国家二级。

地利用方式下土壤综合肥力系数变化趋势:对照组>天然林>次生林>人工林(表3)。按照土壤肥力评价标准 *P* 值的大小表明,对照组土壤肥力比较肥沃,而天然林、次生林和人工林土壤肥力均表现为中等。

表 3

不同土地利用类型土壤肥力综合评价

Table 3

Comprehensive evaluation of soil fertility under different land use patterns

样地 Sample	pH	有机质含量 Organic matter content	速效氮含量 Available nitrogen content	速效磷含量 Available phosphorus content	速效钾含量 Available potassium content	<i>P</i> <sub>1</sub> 平均值 <i>P</i> <sub>1</sub> average value	<i>P</i>
天然林 Natural forest	3.85	3.00	0.30	3.00	3.00	2.63	1.50
次生林 Secondary forest	1.96	3.64	0.38	3.00	2.35	2.26	1.30
人工林 Artificial forest	1.85	1.18	0.53	3.00	3.00	1.91	1.12
对照组 Control group	7.69	3.00	1.30	4.00	1.31	3.46	2.09

### 2.3 高速公路沿线森林植被多样性

#### 2.3.1 不同土地利用类型植物群落多样性

不同土地利用方式的植物种类因环境的异质性往往具有较大的差异,因此物种丰富度、物种多样性及均匀度也具有差异。由表4可知,就群落不同土地利用方式而言,植物群落垂直层次结构的物种丰富度均表现为天然林>次生林>人工

林。乔木层,不同林型物种多样性 *S*<sub>i</sub> 指数和 *S*<sub>w</sub> 指数以及均匀度 *J*<sub>sw</sub> 指数和 *J*<sub>s</sub> 指数均表现为天然林>次生林>人工林。灌木层,不同林型物种多样性 *S*<sub>i</sub> 指数和 *S*<sub>w</sub> 指数均表现为次生林>天然林>人工林;均匀度 *J*<sub>sw</sub> 指数表现为次生林>人工林>天然林,均匀度 *J*<sub>s</sub> 指数表现为次生林>天然林>人工林。草本层,不同林型物种多样性 *S*<sub>i</sub> 指数和 *S*<sub>w</sub> 指数均为天然林>人工林>次生林;

表 4 不同土地利用方式群落垂直层次结构的物种多样性指数

Table 4 Species diversity index of vertical structure of community in different land use patterns

样地 Sample	层次 Hierarchy	丰富度 Richness	Si 指数 Simpson index	Sw 指数 Shannon-weiner index	$J_{sw}$ 指数 $J_{sw}$ index	$J_s$ 指数 $J_s$ index
天然林 Natural forest n=7	乔木	9	0.733	1.522	0.782	0.855
	灌木	14	0.870	2.215	0.924	0.957
	草本	20	0.929	2.808	0.949	0.978
次生林 Secondary forest n=7	乔木	8	0.617	1.321	0.679	0.720
	灌木	12	0.879	2.262	0.943	0.967
	草本	17	0.840	1.973	0.937	0.960
人工林 Artificial forest n=7	乔木	6	0.121	0.239	0.345	0.241
	灌木	8	0.816	1.810	0.930	0.952
	草本	11	0.870	2.168	0.942	0.967

均匀度  $J_{sw}$  指数和  $J_s$  指数均表现为天然林>人工林>次生林。

2.3.2 影响高速公路沿线植被多样性生境因子的主成分分析

选取土壤理化性质含水量和 pH, 土壤养分有机质、速效氮、速效磷与速效钾, 微生物总量<sup>[6]</sup>, 地形条件经度、纬度、坡度和海拔共 11 个相关生境因子作为特征向量, 以 Simpson 多样性指数为权重参数, 通过 SPSS 软件进行主成分分析, 以期找到生境因子干扰植物群落物种多样性变化的综合作用。

由表 5 和图 2 可以看出, 11 个变量可以由提取的前 2 个主成分反映其 88.635% 的总方差, 即前 2 个主成分已可以反映 11 种生境因子的大部分信息, 而且第 1 主成分较高, 达到 58.526%。经过最大方差正交旋转, 在第 1 主成分上有较高正载荷的是 pH、有机质、速效氮、经度和海拔; 具有较高负载荷的是速效钾和坡度。在第 2 主成分中较高正载荷的是含水量、速效磷、坡度和海拔; 具有较高负载荷的是微生物总量和纬度。值得注意的是, 坡度和海拔同时在第 1 主成分和第 2 主成分上都有较高的载荷(图 2), 即坡度和海拔在 2 个主成分中均为主要决定因子, 表明宝天高速公路沿线森林植物物种多样性的差异主要反映的是坡度和海拔即地形因子的影响, 同时, 土壤有机质、速效氮、速效钾等养分含量和土壤 pH 以及经度是影响森林植物物种多样性的间接因子。

3 讨论与结论

高速公路的快速发展在带来巨大的便利和显著的经济、社会效益的同时, 也造成日益严重的生

表 5 旋转后的主成分载荷矩阵及其特征值

Table 5 Rotated principal component load matrix and its eigenvalues

生境因子 Habitat factor	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2
土壤含水量 Soil moisture content	0.478	0.816
pH	0.995	0.103
有机质含量 Organic matter content	0.888	-0.460
速效氮含量 Available nitrogen content	0.868	-0.496
速效磷含量 Available phosphorus content	-0.079	0.997
速效钾含量 Available potassium content	-0.996	-0.031
微生物总量 Total microbial biomass	-0.175	-0.985
经度 Longitude	0.995	0.104
纬度 Latitude	0.157	-0.988
坡度 Slope	-0.663	0.749
海拔 Altitude	0.875	0.683
方差 Variance/%	58.526	30.109
累积方差 Cumulative variance/%	58.526	88.635

注: 微生物总量数据来源于宝天高速公路土壤生态系统受损和可持续生境保护研究<sup>[6]</sup>。

Note: The total microbial data are from the research on soil ecosystem damage and sustainable habitat protection in Baotian highway<sup>[6]</sup>.

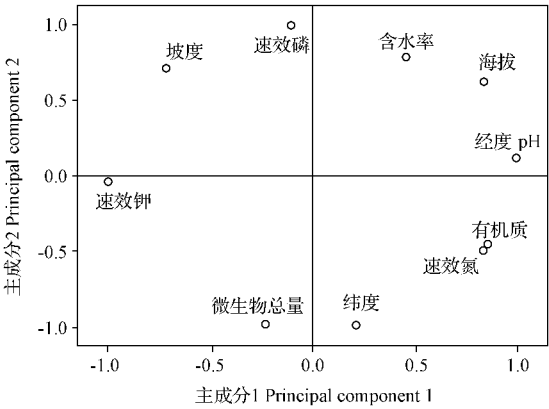


图 2 旋转空间中的成分

Fig. 2 Component diagram of rotating in space

态环境破坏—水土流失、生物多样性减少、路域森林健康状况降低等问题,高速公路在建设和运营过程中不可避免地对沿线森林土壤环境及植被产生破坏<sup>[16]</sup>。现通过调查宝天高速公路沿线森林土壤环境质量,参照国家土壤养分含量调查等级,高速公路沿线森林土壤有机质、速效磷和速效钾的含量均较丰富,而速效氮缺乏严重。与小陇山自然保护区对比,宝天高速公路沿线土壤有机质、含水量、速效氮和速效磷平均含量分别下降了47.34%、56.08%、82.38%、36.27%;而土壤pH和速效钾含量分别增加了16.48%和47.14%。由此可见,高速公路沿线土壤易受公路运营等人为因素的干扰,直接影响土壤养分的含量变化与肥力状况。已有研究表明,公路的建设和运营,车辆排放尾气的长期累积,土壤物理结构被改变,土壤颗粒进行重新排列,土壤孔隙和容重也发生相应的变化,土壤趋于厌氧环境,土壤中的养分利用率明显降低<sup>[17]</sup>。

就不同土地利用方式而言,由内梅罗指数表明,森林土壤肥力均为中等,且土壤综合肥力系数P表现为:对照组(2.09)>天然林(1.50)>次生林(1.30)>人工林(1.12)。在不同林型下,人工林和次生林有机质、速效氮、速效磷和速效钾等土壤养分含量均低于天然林。主要原因是土地使用方式的差异,增加了人为干扰的程度,致使土壤养分含量逐渐降低<sup>[18]</sup>,人工林由于人为种植等活动的影响,导致土壤中养分的进出变化比较大,其人为影响程度大大超过了半自然状态利用形式下的次生林地和原生态的天然林。另外部分人工林在种植初期,土壤已经受到公路建设等人为活动的长期扰动和持续影响,大量人工土体的无序侵入,扰乱了公路沿线土壤的发育层次和土体构型,破坏了土壤原有的表土层,土壤质地结构和腐殖质层都发生了变化<sup>[2,19-21]</sup>。就次生林和人工林而言,次生林有机质、速效氮、速效磷含量比人工林高,主要是因为次生林的植被面积相对较大,植物物种相对丰富,林型构成相对复杂,地表枯落物较多,最终导致次生林有机质的含量高于人工林。

生物多样性是森林生态系统能够持续健康发展的主要基础之一,也是人类赖以生存的条件之一<sup>[22]</sup>。物种丰富度、多样性指数和均匀度指数受到包括自然因素和人为因素等环境因素的影响,

如纬度、经度和海拔的差异引起的降雨量和温度的差异,地形条件和土壤理化性质等,以及放牧砍伐等人为因素<sup>[23-24]</sup>。该研究基于人为因素之外的土壤性质及地形条件等生境因子,通过SPSS软件进行主成分分析,进一步探明这些生境因子中干扰植物物种多样性最主要的因子是坡度和海拔,其是土壤有机质、速效氮、速效钾等养分含量和土壤pH及经度等生境因子也间接影响森林植物物种多样性,这与孟凡云<sup>[1]</sup>的研究结果较一致。

通过对天然林与次生林、人工林植被物种多样性的比较,能为次生林和人工林的近自然经营提供理论指导。王健敏等<sup>[25]</sup>对比云南松人工林和经过干扰的天然林,发现干扰较少的云南松天然林具有比较稳定、合理的群落结构,干扰较少的物种多样性、群落稳定性均优于干扰较大的。但是景丽等<sup>[26]</sup>对秦岭油松人工林与次生林群落特征比较研究中发现,经过40年左右的恢复,人工林与次生林群落特征已达到一定程度的相似性,油松适合作为该地区的造林树种。课题组认为,对宝天高速公路实施天保工程的过程中如果能够正确运用群落生态学原理在土壤改良、种植密度、树种选择和组配等方面进一步深入研究可能降低高速公路运营对沿线森林植被的影响,甚至加速植被的恢复过程,尤其使公路沿线次生林和人工林植被趋于天然林状态。

## 参考文献

- [1] 孟凡云. 宁淮高速公路沿线植被物种多样性研究[D]. 南京:南京林业大学,2007.
- [2] 余海龙,顾卫,姜伟. 高速公路路域土壤质量退化演变的研究[J]. 水土保持学报,2006,20(4):195-198.
- [3] 董康,李师翁,康文龙. 青藏公路沿线土壤微生物数量变化及其影响因素研究[J]. 冰川冻土,2013,35(2):457-464.
- [4] 杨宝玲,郑阿宝,阮宏华. 沪宁高速公路两侧土壤微生物量空间分布特征分析[J]. 安徽农业科学,2015,43(5):192-193.
- [5] KEYDOSZIUS J R, COX JR S K, HAQUE M B, et al. Historical land use and soil analysis guiding corridor landscape design[J]. Urban Ecosyst, 2007, 10(1):53-72.
- [6] 惠亚梅. 宝天高速公路土壤生态系统受损和可持续生境保护研究[D]. 兰州:西北师范大学,2015.
- [7] 牟瑞强. 路域森林群落生态监测体系的建立与应用研究[D]. 兰州:西北师范大学,2015.
- [8] 巨天珍,叶青,葛建团,等. 甘肃小陇山白皮松林优势种群的分布格局[J]. 江苏农业科学,2010(2):336-338.
- [9] 侯芸芸. 小陇山国家级自然保护区土壤理化性质及其与土

- 壤微生物群落特征的相关性研究[D]. 兰州:西北师范大学,2013.
- [10] 郝瑞军,方海兰,沈烈英,等. 上海中心城区公园土壤的肥力特征分析[J]. 中国土壤与肥料,2011(5):20-26.
- [11] 江红,王克勤. 澄江尖山河小流域不同土地利用类型下土壤肥力分析[J]. 中国水土保持,2013(7):54-57.
- [12] 张广帅,邓浩俊,杜锐,等. 泥石流滩地不同土地利用类型土壤肥力质量综合评价[J]. 福建林学院学报,2014,34(3):214-219.
- [13] 曾志新. 生物多样性的评价指标和评价标准[J]. 湖南林业科技,1999,26(2):25-28.
- [14] PIELOU E C, Mathematical ecology[M]. New York: Wiley-Inter-science,1985.
- [15] 白麟,杨建英,韩雪梅,等. 三种造林模式对北京北部人工水源涵养林地土壤肥力的影响研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):75-78.
- [16] 周正祥,凌征武,温可,等. 高速公路环境影响后评价单要素指标体系及量化模型研究[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版),2008,2(1):93-97.
- [17] 董伟华,韩德复,李沁枚,等. 公路建设对其周边土壤理化性质的影响[J]. 长春师范大学学报,2015,34(2):87-89.
- [18] 谢瑾,李永梅,候天才. 纳板河流域不同土地利用类型下土壤综合肥力分析[J]. 云南农业大学学报,2012,27(3):401-407.
- [19] 史东梅. 高速公路建设中侵蚀环境及水土流失特征的研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):5-9.
- [20] 刘世梁,傅伯杰,吕一河. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J]. 生态学报,2003,23(3):414-420.
- [21] HAMAZA M A, ANDERSON W K. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions[J]. Soil and Tillage Research,2005,82:121-145.
- [22] 李永宏,阿兰. 不同放牧体制对新西兰南部补播生草丛草地的长期效应[J]. 国外畜牧学(草原与牧草),1995(1):22-28.
- [23] 党鹏. 黄土高原油松人工林物种多样性和土壤理化性质的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [24] 吴昊,刘华,张洋,等. 商洛山区人工油松群落物种多样性与环境因子关系研究[J]. 西北植物学报,2012,32(2):377-383.
- [25] 王健敏,刘娟,陈晓鸣,等. 云南松天然林及人工林群落结构和物种多样性比较[J]. 林业科学研究,2010,23(4):515-522.
- [26] 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.

## Forest Soil Environment Quality and Plant Species Diversity Along Baotian Highway

LI Youwen<sup>1,2</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, ZHA Xianghao<sup>1</sup>, ZHANG Shengnan<sup>1</sup>, JU Tianzhen<sup>3</sup>

(1. College of Chemistry and Environmental Science, Kashgar University, Kashgar, Xinjiang 844000; 2. Xinjiang Biomass Solid Waste Reclamation Technology and Engineering Center, Kashgar, Xinjiang 844000; 3. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070)

**Abstract:** All 21 samples of soil and vegetations selected from Baotian highway natural forest, secondary forest and artificial forest were investigated respectively, Tianshui, Gansu Province, and the quality of soil environment and the diversity of plant diversity were studied in different land use patterns, and the effects of habitat factors such as soil physical and chemical properties and topographic conditions on plant biodiversity were discussed. The results showed that the average contents of soil organic matter, water content, available nitrogen and available phosphorus decreased by 47.34%, 56.08%, 82.38%, 36.27% along the Baotian highway, respectively; the average contents of soil available potassium and pH increased respectively by 16.48% and 47.14%, compared with the Xiaolongshan forest in Gansu Province. According to the national soil nutrient classification standards, the contents of soil organic matter, available phosphorus and available potassium of the study area were in the middle and upper level, but the available nitrogen was relatively lack. Nemerow index showed that the soil comprehensive fertility coefficient followed a pattern of control group (2.09) > natural forest (1.50) > secondary forest (1.30) > artificial forest (1.12). Correlation and principal component analysis showed that the slope and elevation were the main factors affecting the diversity of forest communities along the Baotian highway; while the soil organic matter, available nitrogen, available potassium and soil pH were indirect factors.

**Keywords:** highway; soil quality; plant diversity; principle component analysis