

延庆县公路边坡植被多样性特征与土壤因子灰关联分析

赵方莹^{1,2,3}, 郭亚娟³, 曹波², 梁丽壮³

(1. 公路交通环境保护技术交通行业重点实验室, 北京 100083;

2. 北京林业大学, 北京 100083; 3. 北京林丰源生态园林绿化工程有限公司, 北京 100083)

摘要: 为研究公路边坡植被的多样性特征及限制其发展的土壤因子, 通过调查延庆县旅游观光段和临溪段公路植被, 发现线路内共出现 39 科 120 种植物, 其中乔木树种 18 种; 灌木和草本植物分别有 17 种和 85 种。群落各层生态优势度指数的大小顺序为: 乔木层 > 灌木层 > 草本层, 在调查线路中, 古龙路植被的生态优势度最高。草本层的植被多样性指数和丰富度指数比乔木层和灌木层的大, 松闫路和古龙路的植被多样性和丰富度指数比栾赤路的小。应用灰色系统理论中的灰色关联度分析方法, 对延庆县公路边坡植被多样性特征与土壤因子的关系进行了定量分析, 确定出与延庆县公路边坡植被多样性特征关联度较大的土壤因子是 pH 值、速效钾含量和土壤容重, 土壤全氮含量也是完全自然植被的古崖居路植被多样性的限制因子。

关键词: 公路边坡; 植物群落; 多样性; 灰色关联度分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0064-05

中图分类号: S15 X176

Grey Incidence Analysis of Vegetation Diversity Characteristics and Soil Factors on Highway Side Slopes in Yanqing County

ZHAO Fang-ying^{1,2,3}, GUO Ya-juan³, CAO Bo², LIANG Li-zhuang³

(1. Key Laboratory of Road Traffic Environmental Protection Technology,

Ministry of Transport, PRC, Beijing 100083, China; 2. Beijing Forestry University, Beijing

100083, China; 3. Beijing Linfengyuan Ecological Landscape Engineering Co. Ltd, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to investigate the relationship between vegetation diversity and soil factors, a vegetation survey was made on the highway side slopes in the tourism segment and near rivulet in Yanqing County. There were 39 families and 120 species of plants in the sections, of which there were 18 species of arbor, 17 species of shrub, and 85 species of herb. By the ecological dominance index in the community, the layers of plants were in the order of tree layer > shrub layer > herbage layer. In the sections, the vegetation ecological dominance index of Gulong Road was the greatest. The diversity and richness of herb layer were greater than canopy layer and bush layer. The vegetation diversity and richness on Luanchi road were greater than those on Songyan Road and Gulong Road. The relationship between vegetation diversity and soil factors was analyzed by applying grey incidence analysis. Results indicated that the relation degree between vegetation diversity and soil pH value was the biggest, the relation degree between vegetation diversity and available K was the second, and the relation degree between vegetation diversity and soil bulk density was the third. The total nitrogen was one of the plant diversity restricting factors on Guyaju road completely covered by nature plants.

Keywords: highway side slope; vegetation community; diversity; grey incidence analysis

土壤作为植物生存的重要环境条件之一, 对植物群落结构和功能产生重要的影响, 土壤环境的差异会导致群落演替过程中物种多样性的变化。生态系统

中各个因子间联系是必然的, 不同在于关联度不同, 而不在于有无关联, 这也是辩证联系的观点^[1]。灰色系统理论是以分析和确定因素间的相互影响程度或

收稿日期: 2010-05-14

修回日期: 2010-06-10

资助项目: 公路交通环境保护技术交通行业重点实验室开放课题资助(GJH-2009-04); 北京市路政局公路生态绿化研究课题; 延庆县公路生态绿化研究课题

作者简介: 赵方莹(1974—), 男(汉族), 江苏省高邮市人, 博士, 工程师, 主要从事工程绿化、水土保持、生态修复研究。E-mail: fyzhao@263.net.

因子对行为的贡献程度而进行评估的一种分析方法。应用灰色关联分析进行评价,解决了众多因子作用的排序问题^[2]。本研究运用灰色关联度分析方法综合分析了各线路不同土壤因子对植被多样性特征的影响状况,并对各土壤因子进行了排序。近年来北京市公路建设速度非常快,建设工程量大,形成的公路边坡面积也相当大,公路边坡绿化的任务非常艰巨。为此,以延庆县境内旅游观光段和临溪段的4条公路为研究对象,对公路边坡的植物群落进行了调查,分析了延庆县公路边坡现有植被的物种组成、多样性特征,并运用灰色理论对公路边坡植被多样性特征与土壤因子的关系进行灰色关联分析,得出影响延庆县公路边坡植被多样性特征的主要土壤限制因子。以期为今后延庆县以及类似公路边坡的植被恢复提供理论依据,在改善土壤限制因子的前提下进行植被恢复,最终达到生态防护的持续稳定性。

1 研究区概况

延庆县位于北京市西北部,东与怀柔区相邻,南与昌平区相连,西面与河北省怀来县毗邻,北面与赤城县接壤,是一个北东南三面环山,西临官厅水库的小盆地。延庆县位于盆地东部,全县总面积 1 992.5 km²,其中平原占 26.2%。调查区地理范围为北纬 40°27′—40°41′,东经 115°46′—116°26′。

延庆县地处北温带,属于典型的大陆性季风气候。春季干旱多风沙,夏季多雨,秋季凉爽,冬季少雪。项目所在地沿线年平均气温在 8℃~9℃之间,多年平均降水量 470 mm,降雨集中在 7—8 月份,降水量自东南向西北递减。年平均风速 2.1 m/s,以西北风为主,大于 17 m/s 的风速平均出现 30~40 次,最大风速为 24 m/s,常使公路行道树折断或连根拔起,造成损失。境内大部分地区为冲积平原,土地肥沃,土壤主要包括山地草甸土、棕壤、褐土、潮土和水稻土。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

根据延庆县公路分类图结合实地调查,于 2009 年 7—8 月对延庆县境内旅游观光段和临溪段的古龙路、古崖居路、松闫路和栾赤路的植被进行了调查。调查采用样方法,沿各条公路随机设置样方,乔木样方 10 m×10 m,灌木样方 5 m×5 m,草本样方 1 m×1 m。在乔木样方中随机设置 1 个灌木样方,3 个草本样方,在没有乔木分布的灌木样方中随机设置 3 个草本样方,记录样方的地理坐标、土壤质地、坡度、坡向等环境因子和植物的种类、数量、高度、盖度(总盖

度、层盖度和分盖度)及枯落物层厚度。在各样方内挖取土壤剖面,用环刀采集 0—30 cm 层的土壤样品,取 3 个重复,充分混合后带回实验室,分析土壤容重、pH 值、全氮、有机质、速效磷和速效钾含量。古龙路全长 18.73 km,调查乔木样方 3 个,灌木样方 9 个,草本样方 33 个;古崖居路全长 2.8 km,调查灌木样方 1 个,草本样方 9 个;松闫路全长 5.7 km,调查乔木样方 3 个,灌木样方 8 个,草本样方 36 个;栾赤路全长 51.44 km,调查乔木样方 9 个,灌木样方 12 个,草本样方 51 个。合计共调查乔木样方 15 个,灌木样方 30 个,草本样方 129 个,分析土壤样品 43 个。

2.2 数据分析方法

2.2.1 群落多样性 用 Excel 软件处理数据,计算 Simpson 生态优势度指数、Shannon—Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数,计算公式为^[3-5]:

$$\text{生态优势度 } C': \quad C' = \sum_{i=1}^S \left[\frac{n_i}{N_s} \right]^2 \quad (1)$$

式中: N_s ——群落中所有种的重要值之和; n_i ——第 i 种植物的重要值。

$$\text{多样性指数 } H': \quad H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中: S ——群落中的植物种类数; P_i ——第 i 种植物的重要值占所有植物种重要值总和的比值。

$$\text{均匀度指数 } J': \quad J' = H' / \ln S \quad (3)$$

式中: H' ——多样性指数; S ——群落中的植物种类数。

$$\text{丰富度指数 } R: \quad R = \frac{S-1}{\ln N} \quad (4)$$

式中: S ——群落中的植物种类; N ——群落中所有种的重要植之和。

2.2.2 灰色关联度分析 首先,构造灰色系统。植被多样性特征作为参考数列,各土壤因子值作为比较数列,构造关联数列^[2,6-7]:

其次,数据标准化。由于选用指标的量纲不同,不便于统计分析,所以对原始数据采用初值化处理,把所有数据均用第一个数据除,得到无量纲的新数列^[8-9];再次,计算关联系数。求出参考数列和比较数列的绝对差,找出两级最大差和两级最小差,分辨系数取 0.5^[10-11]。根据公式(5)计算关联系数;最后,计算关联度。根据公式(6)计算关联度,关联度反映了比较数列与参考数列的接近程度,关联度越大,土壤因子与植被多样性特征的关联性越强,据此可对各土壤因子进行排序^[12-13],得出关联序。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |C_k^* - C_k^i| + \rho \max_i \max_k |C_k^* - C_k^i|}{|C_k^* - C_k^i| + \rho \max_i \max_k |C_k^* - C_k^i|} \quad (5)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_k(k) \quad (6)$$

式中： $\xi_k(k)$ ——关联系数； $|C_k^* - C_k^i|$ ——参考数列和比较数列的绝对差； ρ ——分辨系数； γ_i ——关联度^[14-16]。

3 结果与分析

3.1 物种组成

在延庆县 4 个路段的调查中共出现 39 科 120 种植物，其中乔木树种 18 种，灌木树种 17 种，草本 85 种。在所有植物中，菊科、豆科、禾本科和蔷薇科出现的物种最多，分别出现了 26 种、13 种、10 种和 10 种，而虎耳草科、十字花科、天南星科、苦木科、槭树科、桦木科、岩蕨科、石竹科、蒺藜科、卷柏科、鸢尾科、远志

科、桑科、松科、苋科都只出现了一种植物(表 1)。乔木树种中蔷薇科、杨柳科出现的植物种类较多，分别出现了 4 种和 3 种；乔木树种中柏科、漆树科和豆科分别出现了 2 种植物；灌木树种中豆科植物出现的最多，出现了 4 种，其次是木犀科，出现了 3 种植物，蔷薇科和鼠李科各出现 2 种植物，其余科的都只出现 1 种植物；草本植物中菊科和禾本科植物最多，分别出现植物 25 种和 10 种，豆科植物种类比较少，只出现了 6 种(表 2)。

古龙路共出现植物 34 种，乔木 7 种，灌木 5 种，草本 22 种；古崖居路共出现植物 16 种，灌木 3 种，草本 13 种；松闫路共出现植物 64 种，乔木 7 种，灌木 13 种，草本 44 种；栾赤路共出现植物 67 种，乔木 13 种，灌木 10 种，草本 44 种。

表 1 研究区乔木灌木物种统计

路段	乔木										灌木									
	杨柳科	苦木科	蔷薇科	漆树科	槭树科	柏科	桑科	松科	豆科	榆科	菊科	马鞭草科	虎耳草科	大戟科	鼠李科	桦木科	木犀科	蔷薇科	柏科	豆科
古龙路	2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	2	0
古崖居路	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
松闫路	2	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	0	0
栾赤路	2	0	3	2	1	2	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	4	1

表 2 各路段草本植物种统计

路段	菊科	茜草科	莎草科	禾本科	萝藦科	藜科	豆科	蔷薇科	景天科	唇形科	堇菜科	旋花科	车前科	毛茛科	岩蕨科	石竹科	葡萄科	十字花科	大麻科	苋科	蒺藜科	天南星科	卷柏科	鸢尾科	远志科
古龙路	9	1	1	4	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
古崖居路	5	1	1	3	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
松闫路	13	4	1	7	0	1	4	2	1	3	2	0	0	2	1	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0
栾赤路	19	1	1	6	1	2	1	1	0	1	2	2	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1

3.2 群落多样性特征

群落的物种多样性越高，整个群落的抗逆性越强^[11]。群落物种多样性测定的指标很多，既可以用株数和盖度计算，也可以用重要值作为计算指标^[11,17]，本研究采用重要值作为计算指标。选取生态优势度指数、多样性指数、均匀度指数和丰富度指数对延庆县公路边坡植被进行分析。

从图 1a 可以看出，除了古崖居路，其它路段植被生态优势度指数的高低顺序为：乔木层>灌木层>草本层。古龙路乔木层的植被生态优势度指数最高，其次是松闫路，栾赤路最低(古崖居路除外)；古龙路和古崖居路灌木层的植被生态优势度指数最高，栾赤路

和松闫路的植被生态优势度指数比较低；各路段草本层的植被生态优势度指数都比较相近，相差不大。从整体上看，古龙路植被的生态优势度指数最高，为 0.48，古崖居路、松闫路和栾赤路植被的生态优势度指数相差不大，这说明这几个路段植被的优势度相近，对生态环境的影响相近。

从图 1b 中明显地看到各路段草本层的植被多样性指数大于乔木层和灌木层的植被多样性指数。这 4 个路段相比较，松闫路草本层的植被多样性指数最高，其次是栾赤路，古崖居路和古龙路草本层的植被多样性指数相近，差别不大，说明这两个路段草本层的植物种类相差不大，对环境的影响也相近。栾赤路

和松闫路灌木层的植被多样性指数最高,古崖居路灌木层的植被多样性指数次之,古龙路灌木层的多样性指数最低,植物种类最少。栾赤路乔木层的植物多样性指数明显高于松闫路和古龙路乔木层的多样性指

数(古崖居路除外)。

从整体上来看,也是栾赤路的植物多样性指数最高,古崖居路和松闫路相近,古龙路最低,这说明栾赤路的植物种类最丰富。

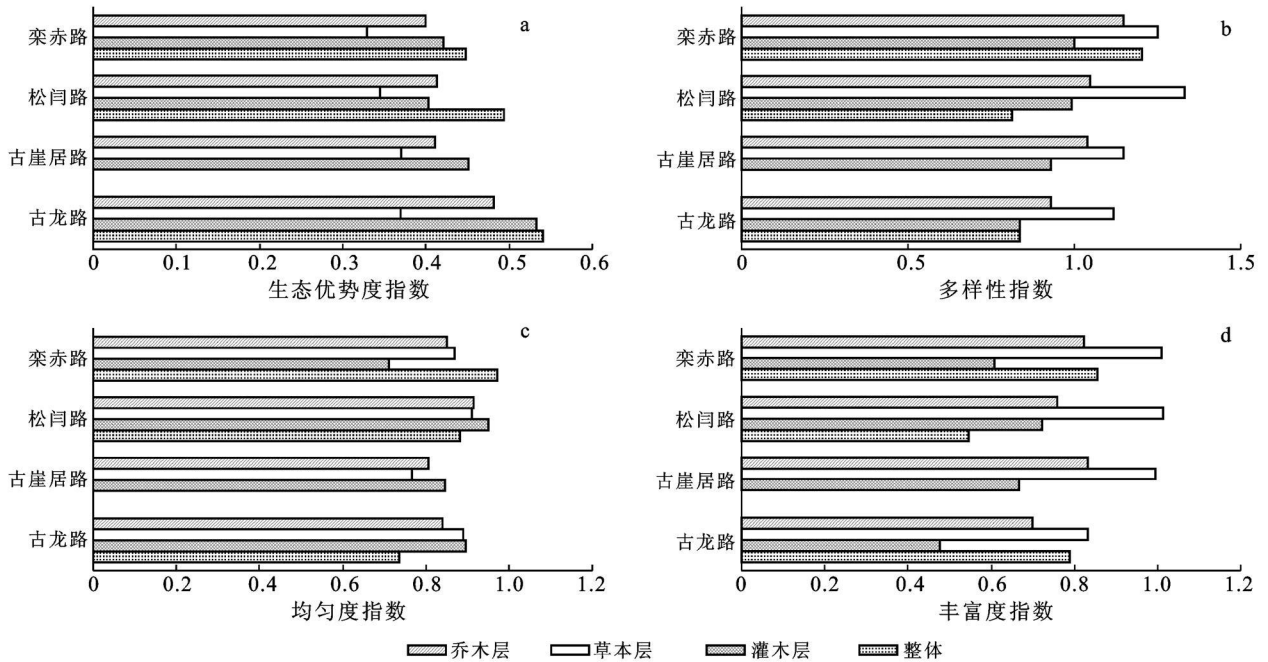


图 1 各路段群落多样性

从图 1c 中看到乔木层各路段的植被均匀度指数高低顺序为:栾赤路>松闫路>古龙路(古崖居路除外)。栾赤路灌木层的植被均匀度指数比其它路段的稍高。古崖居路草本层的植被均匀度指数比其它 3 条路的略低。

从总体上看,松闫路的植被均匀度指数比较高,其它各路段植被的均匀度指数相差不大,说明植被分布的均匀性相差不大。

根据图 1d 中分析,在总体上,古崖居路和栾赤路植被的丰富度指数相对于古龙路和松闫路高,而对于不同路段各层的植被丰富度指数变化情况与多样性指数相似,在此不再赘述。

3.3 植被多样性特征与土壤因子灰关联分析

各土壤因子对各条线路边坡植被多样性特征的影响不相同(表 3),影响古龙路边坡植被多样性的土壤因子中 pH 值的关联度最大,其次是土壤速效钾含量和全氮含量;影响古龙路群落生态优势度的土壤因子中土壤容重的关联度最大,其次是土壤速效磷和速效钾含量。影响古崖居路边坡植被多样性的土壤因子中土壤全氮含量的关联度最大,其次是土壤 pH 值和有机质含量;影响古崖居路群落生态优势度的土壤因子中土壤有机质含量的关联度最大,其次是土壤全氮含量和土壤容重。影响松闫路边坡植被多样性的

土壤因子中土壤 pH 值的关联度最大,其次是土壤容重和速效钾含量;影响松闫路群落生态优势度的土壤因子中土壤容重的关联度最大,其次是土壤速效钾含量和速效磷含量。影响栾赤路边坡植被多样性的土壤因子中 pH 值的关联度最大,其次是土壤速效钾含量和土壤容重;影响栾赤路群落生态优势度的土壤因子中土壤有机质含量的关联度最大,其次是土壤容重和速效钾含量。古崖居路全部是自然植被,古龙路、松闫路和栾赤路人工植被分别占 73%,33%和 41%;根据以上分析得出,全部为自然植被的古崖居路中土壤的全氮含量与植被多样性关联性最强,是植被多样性的主要限制因子;以人工植被为主的古龙路中植被多样性与土壤 pH 值和土壤速效钾含量关联性最大,说明土壤 pH 值和土壤速效钾含量是人工植被恢复中的主要限制因子;自然和人工植被都存在的松闫路和栾赤路中植被多样性与土壤 pH 值和土壤速效钾含量关联性最大,说明这两个线路中土壤的酸碱性和速效钾含量是主要限制因子。建议在今后的公路边坡人工植被恢复过程中首先改良土壤的酸碱性和适量增施土壤钾肥以促进植被多样性的提高;对以自然植被为主的公路边坡适当增施土壤氮肥,提高土壤肥力,达到提高公路边坡植被多样性的目标。

表 3 不同路段多样性特征与土壤因子关系的关联矩阵

路段	多样性特征	关联序
古龙路	生态优势度指数	容重> 速效磷> 速效钾> 有机质> 全氮> pH 值
	多样性指数	pH 值> 速效钾> 全氮> 容重> 速效磷> 有机质
	均匀度指数	pH 值> 速效钾> 容重> 速效磷> 全氮> 有机质
	丰富度指数	pH 值> 速效钾> 全氮> 容重> 速效磷> 有机质
古崖居路	生态优势度指数	有机质> 全氮> 容重> 速效钾> 速效磷> pH 值
	多样性指数	全氮> pH 值> 有机质> 速效钾> 容重> 速效磷
	均匀度指数	全氮> pH 值> 有机质> 速效钾> 容重> 速效磷
	丰富度指数	pH 值> 全氮> 有机质> 速效钾> 容重> 速效磷
松闫路	生态优势度指数	容重> 速效钾> 速效磷> 全氮> 有机质> pH 值
	多样性指数	pH 值> 容重> 速效钾> 速效磷> 全氮> 有机质
	均匀度指数	pH 值> 容重> 速效钾> 速效磷> 全氮> 有机质
	丰富度指数	pH 值> 速效钾> 容重> 速效磷> 全氮> 有机质
栾赤路	生态优势度指数	有机质> 容重> 速效钾> 速效磷> 全氮> pH 值
	多样性指数	pH 值> 速效钾> 容重> 有机质> 速效磷> 全氮
	均匀度指数	pH 值> 速效钾> 容重> 有机质> 速效磷> 全氮
	丰富度指数	pH 值> 速效钾> 容重> 有机质> 速效磷> 全氮

通过对各线路植被多样性特征与土壤因子的灰色关联分析,得出不同土壤因子对延庆县公路边坡植被多样性特征的关联序(表 4),群落多样性指数、均匀度指数和丰富度指数的关联序中土壤 pH 值的关联度最大,是影响群落多样性指数、均匀度指数和丰富度指数最主要的因素,其次是速效钾含量和土壤容重,这与上文的分析基本一致,因此改善延庆县公路边坡土壤的 pH 值是增加群落多样性的关键,其次是适量增加土壤的速效钾含量和改善土壤的物理结构,以减小土壤容重对群落多样性发展的限制作用。对于群落生态优势度指数,土壤容重的关联度最大,是影响延庆县旅游段和临溪段公路边坡植物群落生态优势度的主要限制因子,其次是土壤速效钾含量和土壤有机质含量,因此改善公路边坡土壤的物理结构、减小土壤容重和增加土壤速效钾、有机质含量是提高该区生态优势度的关键。

表 4 群落多样性特征与土壤因子关系的关联矩阵

多样性特征	关联序
生态优势度指数	容重> 速效钾> 有机质> 速效磷> 全氮> pH 值
多样性指数	pH 值> 速效钾> 容重> 速效磷> 有机质> 全氮
均匀度指数	pH 值> 速效钾> 容重> 有机质> 速效磷> 全氮
丰富度指数	pH 值> 速效钾> 容重> 速效磷> 有机质> 全氮

4 结论

(1) 延庆县公路调查中共出现 39 科 120 种植物,其中物种出现较多的有菊科、禾本科、豆科和蔷薇

科。乔木树种中杨柳科、蔷薇科和柏科植物出现较多;灌木和草本植物中菊科和禾本科植物出现较多。栾赤路和松闫路出现的植物种类较古龙路和古崖居路出现的植物种类多。

(2) 从整体上来看,乔木层植被的生态优势度指数最高,灌木层次之,草本层最低;古龙路植被的生态优势度指数最高,其它 3 条路植被的生态优势度指数差别不大。草本层植被的多样性和丰富度指数要比乔木层和灌木层的大;松闫路和古龙路植被的多样性和丰富度指数比栾赤路的小。对于均匀度指数,各路段各层植被的均匀度指数变化情况各有差异。

(3) 整体来讲影响延庆县公路边坡植被多样性指数的土壤因子中 pH 值的关联度最大,其次是土壤速效钾含量和土壤容重,对于全部为自然植被的古崖居路,土壤全氮含量也是植被多样性的限制因子;影响延庆县公路边坡植物生态优势度的土壤因子中土壤容重的关联度最大,其次是土壤速效钾和有机质含量。建议延庆县在今后的公路边坡植被恢复重建过程中加强土壤改良,适当调整土壤的酸碱性和物理结构,并适量施肥,提高土壤肥力。

[参 考 文 献]

- [1] 尚占环,姚爱兴,龙瑞军,等.山地荒漠草原植物群落多样性与环境因子动态关系研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(2):163-168.
- [2] 林培松,尚志海.韩江流域典型区主要森林类型土壤肥力的灰色关联度分析[J].水土与农村韩江学报,2009,25(3):55-58.

(下转第 90 页)

- [8] 陈建国, 张杨珠, 曾希柏, 等. 长期定位施肥对湖南水稻土有效态微量养分的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(5): 591-595.
- [9] 李丽霞, 郝明德, 薛晓辉, 等. 黄土高原沟壑区苹果园土壤重金属含量特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 65-69.
- [10] 樊军, 邵明安, 郝明德, 等. 渭北旱塬苹果园土壤深层干燥化与硝酸盐累积[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1213-1216.
- [11] 梁俊, 赵政阳, 樊明涛. 陕西渭北苹果园土壤中汞、镉污染与分布特征研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(30): 209-213.
- [12] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 14-15.
- [13] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 长期施肥对东北黑土酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 551-556.
- [14] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [15] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社出版, 1986: 226-228.
- [16] 冯利华. 环境质量的主成分分析[J]. 数学实践与认识, 2003, 33(8): 32-35.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 263-275.
- [18] 陈伟, 姜中武, 胡艳丽, 等. 苹果园土壤微生物生态特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 169-171.
- [19] 常显波, 刘举, 韩京龙, 等. 不同种植年限苹果园土壤理化性质及微生物数量[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(5): 1423-1426.
- [20] 陕西土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 322-474.
- [21] 李会民, 程雪绒. 咸阳苹果园土壤养分状况调查及对策[J]. 北方果树, 2002(6): 20-22.
- [22] 刘双安, 赵繁斌, 刘竹梅, 等. 洛川县苹果园土壤养分状况调查及对策建议[J]. 陕西农业科学, 2004(48): 48-50.
- [23] 樊军, 邵民安, 郝明德, 等. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-12.
- [24] 闫亚丹, 徐福利, 邹诚, 等. 黄土高原坡地苹果园土壤肥力及矿质氮累积分析[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 31-36.
- [25] Riley W J, Ortiz-Monasterio I, Matson P A. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico[J]. Nutr. Cycling in Agro ecosystems, 2001, 61: 223-236.

(上接第 68 页)

- [3] 曹永翔, 张克斌, 王海星, 等. 不同封育年限对盐池县植被多样性及生物量的影响研究[J]. 林业调查规划, 2009, 34(4): 8-11.
- [4] 杨尚功, 李向义, 雷加强, 等. 昆仑山前山带植物群落调查及相似性初步研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(4): 809-817.
- [5] 刘金根, 薛建辉. 坡向对香根草护坡地植物群落特征的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 384-388.
- [6] 李禄军, 蒋志荣, 李正平, 等. 3 树种抗旱性的综合评价及其抗旱指标的选取[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 256-254.
- [7] 彭军, 李旭光, 付永川, 等. 重庆四面山常绿阔叶林种子库与生态因子灰色关联度分析[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1998, 23(6): 700-705.
- [8] 马姜明, 李昆. 元谋干热河谷人工林的土壤养分效应及其评价[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 467-471.
- [9] 闫俊华, 周国逸, 申卫军. 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3): 197-200.
- [10] 张新全, 李向林, 万里强, 等. 应用灰色关联度综合评价 17 个不同秋眠级苜蓿的生产性能[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 67-72.
- [11] 杨成生, 王芳, 张亚军, 等. 杨树苗期生长特性的灰色关联分析[J]. 甘肃林业科技, 2004, 29(1): 7-11.
- [12] 王瑄, 李占斌, 鲁克新, 等. 坡面水蚀动力因子与土壤剥蚀率灰色关联分析[J]. 水利学报, 2005, 36(5): 1-8.
- [13] 费永俊, 王燕, 袁军. 南方红豆杉扦插苗木生长量及与气象因子的灰色关联[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(3): 372-376.
- [14] 薛建辉, 徐友新, 张正跃, 等. 林农复合系统的间作物产量与环境因子关联分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(5): 17-20.
- [15] 张金萍, 张静, 孙素艳. 灰色关联分析在绿洲生态稳定性评价中的应用[J]. 资源科学, 2006, 28(4): 195-200.
- [16] 郝云庆, 何丙辉, 李旭光. 巫溪县红池坝不同植被恢复阶段土壤养分评价[J]. 西南农业大学学报, 2006, 28(1): 149-153.
- [17] 胡传伟, 孙冰, 陈勇, 等. 深圳次生林群落结构与植物多样性[J]. 南京林业大学学报, 2009, 33(5): 21-25.