

徐州地区主要省道的植物多样性研究

谭雪红, 张翠英

(徐州工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 采用均匀分布和典型样地相结合的方法, 对徐州地区 4 条省道绿化状况进行了调查, 并利用重要值、丰富度指数、Shannon—Weiner 多样性指数、Pielou 均匀度指数、相似性指数分析其植物组成及多样性。结果表明: (1) 4 条省道共有乔木 31 种, 灌木 17 种, 草本 40 种。杨树、女贞、龙柏、三叶草在徐州地区主要省道绿化中发挥着重要作用, 其重要值和出现频率均排在前列。(2) 省道 S323 乔灌种类最多, 省道 S253 草本最多, 人工绿化的乔、灌在一定程度上抑制了杂草生长。植物群落综合 Shannon—Weiner 指数排序为 S323 > S322 > S253 > S251。每条省道的丰富度指数、Shannon—Weiner 指数和 Pielou 指数均为草本 > 乔木 > 灌木。(3) 两两省道之间的相似性指数均为 30%~50%, 草本植物的共有种对相似性指数贡献最大。在进行道路绿化的过程中, 需要乔灌草统一考虑, 特别是增加草本植物的多样性以抑制杂草生长。

关键词: 徐州地区; 省道; 植物多样性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0191-06

中图分类号: X171.4

Plant Species Diversity Along Main Provincial Roads in Xuzhou Area

TAN Xue-hong, ZHANG Cui-ying

(Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: According to plants investigation with the combined method of uniform distribution with typical sampling area, the plant species and diversity along four provincial roads in Xuzhou area were studied by using significant value, richness index, Shannon—Wiener index, Pielou evenness index and similarity index. Results showed that (1) there were 31 kinds of arbor, 17 kinds of shrub and 40 kinds of herbage along the four roads. *Populus*, *Ligustrum lucidum*, *Juniperus chinensis* cv. *kaizuk* and *Trifolium* played important roles, and their significant value and frequency of occurrence were at the top. (2) The species of arbor and shrub occurred mostly in S323 and the species of herbage, mostly in S253. Artificial trees and shrubs inhibited the growth of weeds to some extent. Comprehensive Shannon—Wiener index was in the order of S323 > S322 > S253 > S251. Richness index, Shannon—Wiener index and Pielou evenness index were all in the order of herbage > arbor > shrub along every provincial road. (3) The similarity index was between 30% and 50% and herbage species had the greatest contribution to it. During road greening, we need consider the community as a whole, especially increase the diversity of herb to inhibit weed growth.

Keywords: Xuzhou area; provincial road; plant diversity

目前, 中国公路建设处于快速发展阶段, 据 2011 年 12 月 30 日在北京召开的全国交通工作会议报道, 截至 2011 年底, 中国公路通车总里程达 4.06×10^6 km², 其中高速公路 8.50×10^4 km², 中国公路通车里程仅次于美国, 居世界第 2 位。大量公路的建成通车极大促进了经济发展, 但同时也不同程度地损坏原生态环境,

例如占用大量土地、水土流失, 生物多样性减少等^[1-2]。大量研究表明, 增加植物多样性可明显提高路域植被群落的覆盖度、稳定性和抗逆性, 通过乔、灌、草结合的立体配置能使路域生态平衡更为稳定^[3]。目前物种多样性的研究大多是针对自然植物群落, 对人工干扰状态下的植物群落研究较少^[4-5]。

收稿日期: 2012-07-23

修回日期: 2012-09-13

资助项目: 江苏省高校自然科学基金课题“苏北地区公路生态绿化模式及关键技术研究”(09KJD610005); 国家住房和城乡建设部课题“淮海经济区公路绿化模式及其生态效应研究”(2011k629); 徐州市科技计划指导项目“徐州市公路生态绿化模式优化技术研究”(XZZD1063); 徐州工程学院风景园林重点培育学科和园林专业优秀教学团队资助

作者简介: 谭雪红(1972—), 女(汉族), 江苏省铜山县人, 博士, 讲师, 主要从事景观生态学, 工程绿化等方面的研究。E-mail: snowman100@126.com。

公路作为受损生态系统,其研究主要集中在公路边坡生态修复、绿化技术等方面,关于植物多样性的研究主要集中在高速公路、旅游公路,忽略了对普通公路植物多样性的研究^[6-8]。本文以徐州地区境内的 4 条主要省道为研究对象,对其植物组成及多样性进行分析,以期对以后的绿化工作提供理论依据。

1 研究区概况

徐州地区地处江苏省西北部,苏、鲁、豫、皖 4 省交界处,地理坐标为东经 116°22′—118°40′,北纬 33°43′—34°58′,总面积 11 258 km²。地形以平原为主,属黄海平原的一部分。气候受东南季风影响较大,属暖温带季风气候,年均降水量 847.9 mm。地带性土壤为棕土、褐土,另有紫色土、潮土、沙姜土、水稻土等土壤类型,地带性植被为落叶阔叶林。

目前,连霍、京福、京沪、宁徐 4 条高速公路通过徐州地区境内,通车里程达 300 km;境内国省干线公路网四通八达,共有 104,205,206,310,311 国道 5 条和 121,249,250,251,252,253,254,321,322,323,324 省道 11 条,总里程 992 km,实现徐州市区到各县及徐州至周遍城市便捷的干线公路连通,交通面貌得到巨大改善。然而道路绿化不容乐观,特别是境内的国道、省道及县道公路的绿化建设存在较多问题,例如存在大量公路边坡坡面裸露,路肩、路沟采用混凝土或浆砌石进行硬化,公路绿化与周边环境缺乏融合,植物选择与配置不合理,绿化技术利用不当,绿化后期管理不力等一系列问题。本文研究的省道 S322, S253, S251, S323 为通过徐州地区的 4 条主要省道,最近 3 a 没有进行大规模的绿化工作,其绿化植物种类及多样性主要是 3 a 前人工绿化和自然恢复的结果。

2 研究方法

2.1 植物调查方法

考虑到公路绿化特点和植物多样性等调查指标的要求,本文采取均匀分布和典型样地相结合的方法对 4 条省道的植物群落进行调查,即一般情况下每条公路 10~20 km 取一样地,如遇植被情况变化较大、或生境特殊的地点,可增加调查样地。于 2011 年 5—6 月对 4 条省道的植物进行调查,具体方法及步骤为:(1) 设置样方,在无隔离带的路段,每一样方的面积为 10 m×(2×10 m),即长度为 10 m,宽度为从路两侧向外水平延伸各 10 m;在有隔离带的路段,每一样方的面积为 10 m×(2×10 m)+10 m×(隔离带的宽度),在每一样方内设 2~3 个 1 m×1 m 的小样

方调查草本植物。(2) 植物群落调查,记录每一样方内的乔木种类、株数、每株胸径;由于很多灌木成片种植,株数很难统计,因此记录每一样方内的灌木种类、盖度、高度;记录每一草本小样方内的草本植物的种类、株数、盖度。每条公路的调查长度、样方数如表 1 所示。

表 1 徐州地区主要省道的调查长度及设置的样方数

省道名称	调查路段长度/km	乔灌样方数/个	草本样方数/个
S322	77.89	8	16
S253	81.27	9	22
S251	93.34	8	18
S323	173.66	9	20

2.2 数据处理

本文用物种重要值、丰富度指数(R)、Shannon—Weiner 多样性指数(H)、Pielou 均匀度指数(J)及相似性指数(I)对 4 条公路的植物多样性进行分析。所有的数据分析及图表利用 Excel 及 Spass 16.0 处理。

(1) 根据调查特点,乔木重要值=相对密度+相对频度+相对显著度,灌木重要值=相对高度+相对频度+相对盖度,草本重要值=相对多度+相对频度+相对盖度。

(2) 丰富度指数: $R=S$

式中: S ——每条省道出现的物种数。

(3) Shannon—Weiner 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中: P_i ——第 i 种的重要值,以重要值为计算指标可以避免因植物个体大小、数量差异悬殊而导致过分地夸大一些个体小但个体数极多的植物种类在群落中的作用。

(4) Pielou 均匀度指数: $I = \frac{H}{H_{\max}}$

式中: H_{\max} ——最大种类多样性。

(5) 相似性指数: $I = \frac{c}{a+b+c} \times 100\%$

式中: a ——其中一条公路的特有种数目; b ——另一条公路的特有种数目; c ——2 条公路的共有种数目。

3 结果与分析

3.1 植物重要值分析

重要值是表示某个种在群落中地位和作用的综合数量指标,重要值高的植物在群落中占优势地位,一般为群落中的优势种^[9]。4 条省道的乔、灌、草 3 层重要值前 5 位的植物如表 2 所示。

3.1.1 乔木层重要值分析 4 条省道共有 31 种乔木植物,主要有杨树(*Populus tomentosa*)、垂柳(*Salix babylonica*)、旱柳(*Salix matsudana*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、圆柏(*Sabina chinensis*)、紫叶李(*Prunus cerasifera*)、法桐(*Platanus orientalis*)、构树(*Broussonetia kazinoki*)、合欢(*Albizia julibrissin*)、苦楝(*Melia azedarace*)、国槐(*Sophora japonica*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、泡桐(*Paulownia tomentosa*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、栎树(*Koelreuteria paniculata*)等。S322 的女贞重要值为 78.49%,属优势种,垂柳、圆柏的重要值较为接近,并且与女贞相差较大,属亚优势种,杨树、法桐重要值较低,不能构成优势种。从重要值大小来看,其余 3 条省道的优势树种的分布规律和 S322 较为相似,即重要值前 5 位的树种分为 3 个阶梯:其中一树种的重要值和其他树种相差较大,处于重中之重地位,为优势树种;中间的为亚优势种;重要值较小的不构成优势种。S253, S323 的优势种为杨树,亚优势种为女贞;S251 优势种为杨树,亚优势种为构树。从植物分布可以看出重要值前 5 位的树种 4 条省道均有杨树、女贞,这 2 树种为徐州市道路绿化的重要乔木,对乔木群落的稳定性及生态功能发挥了重要作用。

3.1.2 灌木层重要值分析 4 条省道共有 17 种灌

木植物,主要是龙柏(*Juniperus chinensis* cv. *kaizuka*)、大叶黄杨(*Euonymus japonicus*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、石楠(*Photinia serrulata*)、红叶石楠(*photinia fraseri*)、小叶黄杨(*Buxus sinica*)、海桐(*Pittosporum tobira*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、连翘(*Forsythia suspensa*)、金钟(*Forsythia viridissima*)、牡荆(*Vitex negundo*)等。S253 的龙柏重要值为 102.3%,为灌木优势种,其他 4 种灌木的重要值差别不大,这说明它们在群落中重要性较为相似。S322, S251 前 5 位植物重要值变幅不大,组成共优种。S323 的优势灌木为龙柏。从植物分布可以看出,龙柏为 4 条省道的优势种,大叶黄杨为其中 3 条省道的优势种,这 2 种灌木在省道绿化中大量运用,起到重要作用。

3.1.3 草本层重要值分析 4 条省道共有 40 种草本植物,主要是三叶草(*Trifolium repens*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、狗尾草(*Setaira viridis*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、香附子(*Cyperus rotundus*)铁杆蒿(*Arternisia sacrorum*)、芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha orientalis*)、浮萍(*Lemna minor*)、水花生(*Alternanthera philoxeroides*)、蒲公英(*Taraxacum officinalis*)、葎草(*Humulus scandens*)、麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、车前草(*Plantago asiatica*)、小蓟(*Cirsium setosum*)等。

表 2 乔、灌、草 3 层重要值前 5 位植物及其重要值

省道名称	乔木层	灌木层	草本层
S322	女贞(78.49%)	夹竹桃(63.25%)	三叶草(72.84%)
	垂柳(40.92%)	龙柏(48.25%)	马唐(38.62%)
	圆柏(40.09%)	大叶黄杨(49.75%)	芦苇(52.38%)
	杨树(27.81%)	连翘(39.25%)	葎草(27.38%)
	悬铃木(16.97%)	小叶女贞(35.5%)	狗尾草(19.27%)
S253	杨树(103.86%)	龙柏(102.3%)	芦苇(34.07%)
	女贞(49.42%)	小叶女贞(50.43%)	狗牙根(23.05%)
	圆柏(25.51%)	小叶黄杨(40.72%)	浮萍(33.62%)
	刺槐(16.68%)	大叶黄杨(39.68%)	三叶草(43.04%)
	垂柳(16.62%)	牡荆(40.40%)	马唐(30.27%)
S251	杨树(132.74%)	大叶黄杨(64.43%)	三叶草(100.12%)
	构树(44.93%)	火棘(54.95%)	马唐(24.11%)
	女贞(25.77%)	红叶石楠(53.87%)	芦苇(19.32%)
	紫薇(24.91%)	石楠(53.87%)	狗尾草(17.50%)
	水杉(18.69%)	龙柏(41.2%)	莎草(16.19%)
S323	杨树(73.33%)	龙柏(59.83%)	三叶草(80.38%)
	女贞(51.32%)	海桐(31.41%)	狗尾草(40.4%)
	雪松(31.02%)	红叶石楠(29.67%)	狗牙根(24.4%)
	紫叶李(23.79%)	牡荆(26.82%)	芦苇(18.99%)
	水杉(15.01%)	金钟(24.77%)	麦冬(18.46%)

三叶草在 S251 的重要值达到 100.12%，比后面的 4 种草本植物马唐、狗尾草、莎草、芦苇高很多，占绝对优势地位。三叶草在 S322, S323, S253 这 3 条省道上的重要值也处于第 1 位，由此可见三叶草在徐州地区省道绿化中的重要地位。芦苇也是 4 条省道中重要值排在前列的植物，这是因为这 4 条国道两侧均有河流通过，有适宜芦苇生长的水生、湿生环境。4 条省道重要值前 5 位的植物以野生杂草为主，但人工散播的三叶草为优势草种。

3.2 植物多样性对比分析

3.2.1 乔木层多样性分析 乔木种类最多的是 S323，有 22 种，占总乔木种的 70.97%，S251 只有 12 种，占总乔木种的 38.71%，S322, S253 这 2 条省道的

绿化乔木在物种丰富度方面差异不大。Shannon—Weiner 多样性指数最大的是 S323，最小的是 S251，大小排序为 $S323 > S322 > S253 > S251$ 。Pielou 指数越大，说明群落中物种之间个体分配越均匀，优势种越不明显，4 条省道的 Pielou 均匀度指数排序和 Shannon—Weiner 多样性指数排序一致。S323 各指数均最大，这说明 S323 乔木植物种类多样，个体分配均匀，群落稳定性最好，S251 各指标的值均为最小，其群落中优势种明显，群落稳定性较差。

多样性指数的变异系数最大的是丰富度指数 (25.26%)，最小的是 Pielou 均匀度指数 (13.06%)，这说明 4 条省道 Shannon—Weiner 多样性指数的差异主要来源于丰富度指数 (表 3)。

表 3 多样性指数分析

省道名称	丰富度指数 <i>R</i>				Shannon—Weiner 指数 <i>H</i>				Pielou 指数 <i>J</i>			
	乔木	灌木	草本	综合	乔木	灌木	草本	综合	乔木	灌木	草本	综合
S322	18	7	23	48	2.43	1.92	2.61	3.43	0.43	0.34	0.45	0.50
S253	19	6	29	54	2.26	1.69	2.91	3.40	0.40	0.30	0.51	0.49
S251	12	6	24	42	1.86	1.77	2.54	3.16	0.33	0.31	0.44	0.46
S323	22	12	22	56	2.58	2.37	2.63	3.63	0.45	0.42	0.45	0.53
变异系数/%	25.26	35.36	12.69	12.99	13.60	15.67	6.10	5.66	13.05	15.88	6.92	5.83

3.2.2 灌木层多样性分析 S323 灌木种类最多 (12 种)，占总灌木种的 70.59%，S253, S251 灌木只有 6 种，占总灌木种类的 35.29%，S322 的灌木也只有 7 种，灌木种类较少。Shannon—Weiner 指数的排序为 $S323 > S322 > S251 > S253$ ，Pielou 指数的排序与 Shannon—Weiner 指数一致。S323 各多样性指数的大小仍然排在前列，这说明 S323 的灌木群落的生态稳定性在 4 条省道中仍是最好的。S251 灌木群落的多样性略好于 S253。从各多样性指数的变异系数可以看出，丰富度指数的变异系数最大，Shannon—Weiner 指数和 Pielou 指数的变异系数相差不大 (表 3)。

3.2.3 草本层多样性分析 S253 各多样性指数均为最高，这说明该省道草本植物多样，优势种不明显，分布均匀，有利于群落的稳定和可持续发展。Shannon—Weiner 指数的排序为 $S253 > S323 > S322 > S251$ ，Pielou 指数的排序为 $S253 > S323 = S322 > S251$ ，S251 虽然植物种类不是最低，但由于其个体分配上的差异，Shannon—Weiner 指数和 Pielou 指数均为最小值，群落中优势种明显，群落稳定性较差。

3.2.4 群落多样性综合分析 每条省道的植物群落都是乔、灌、草复合层的综合，从综合多样性指数来看，S323 的丰富度指数，Shannon—Weiner, Pielou 指数均为最大，这说明 S323 的群落不但植物种类丰富，而且

种类之间个体分配均匀，有利于群落整体生态功能的发挥，群落最为稳定。S253 虽然草本植物群落多样性较大，但由于植物群落中的乔、灌层的生态作用远大于草本群落，使其综合群落多样性指数较低。Shannon—Weiner 指数的排序为 $S323 > S322 > S253 > S251$ ，Pielou 指数的排序与 Shannon—Weiner 指数一致。

从每条省道的乔、灌、草多样性比较分析看出，丰富度指数、Shannon—Weiner 指数和 Pielou 指数都是草本 $>$ 乔木 $>$ 灌木，这说明 4 条省道的人工绿化主要放在乔木上面而忽视了灌木，而草本植物的多样性主要是自然恢复的结果，其植物种类以田间杂草为主。

3.3 4 条省道植物种类的相似性分析

3.3.1 出现频率分析 图 2 为 4 条省道出现频率超过 75% 的植物种，即在 3 条以上的省道上出现的植物。其中杨树、女贞、垂柳、紫薇的出现频率为 100%，即在 4 条省道上都有种植，为徐州地区公路绿化最常用树种，杨树主要种植在公路两侧景观带，女贞为路肩绿化常用植物，紫薇主要种植在公路隔离带，垂柳主要应用在公路两侧水边。出现频率大于 75% 的乔木中只有苦楝、构树为非人工种植自然恢复的结果，这说明公路绿化乔木主要以人工绿化为主，只有在公路远离城市的地区，即人工绿化薄弱地区才出现一些当地乡土树种。

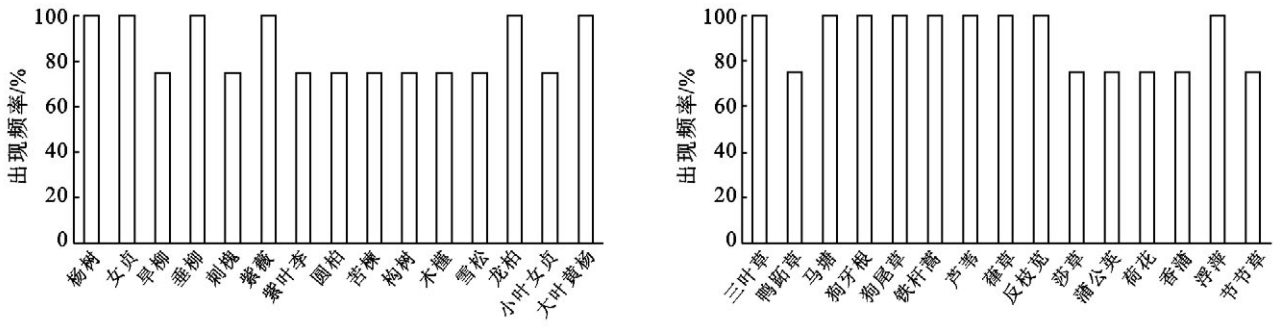


图 1 乔、灌、草不同层次的植物在 4 条省道上出现频率

4 条省道上均出现的灌木为龙柏和大叶黄杨,它们主要用在隔离带和路两侧绿化带,出现频率大于 75% 的灌木只有 3 种,小叶女贞在 3 条省道上出现。这说明灌木层依然是人工绿化起到重要作用,而灌木层植物的不足主要是公路绿化只注重乔木层,而忽略了灌木层。

草本层的三叶草、马唐、狗牙根、狗尾草、铁杆蒿、芦苇、菵草、反枝苋、浮萍 9 种植物出现频率为 100%,三叶草为徐州地区省道绿化的主要草本植物,由于调查的 4 条省道两侧均有河流,故水生植物芦苇、浮萍在道路绿化中均出现,其余 6 种出现频率为 75% 的植物均为自然生长的杂草,虽然景观效果较差,但对恢复生态起到重要作用。

3.3.2 相似性指数分析 为了更好地分析条 4 条省道植物种类的相似性,我们计算了每 2 条省道的相似性指数(表 4)。可以看出共有种最多的是 S323 和 S253,它们共有 35 种植物,其中乔木 13 种,灌木 4 种,草本 18 种,2 条省道的相似性指数达到 46.67%,为相似性最高的 2 条省道。共有种最少的 2 条省道为 S253 和 S251,共有 26 种植物,其相似性指数为 37.14%。总体来看,相似性越高,其共有种植物越多,特有种越少,道路绿化模式越相近。由表 4 可以看出两两省道的相似性指数均大于 30%,这说明 4 条省道的绿化存在较大的相似性,但从分析可以看出,主要是草本植物的共有种起着重要作用,这主要是由于 4 条国道地域接近,杂草类型一致所导致。4 条省道两两之间的相似性指数均没有超过 50%,这说明每条省道在绿化模式上存在着一定差异。

表 4 植物共有种和相似性指数

省道名称	S322	S253	S251	S323
S322	—	30	27	32
S253	41.67	—	26	35
S251	42.86	37.14	—	30
S323	44.44	46.67	44.12	—

4 结论

(1) 本文所调查的徐州地区 4 条省道乔、灌层的植物种类及多样性主要受人工影响。4 条省道的绿化共有乔木 31 种,灌木 17 种,草本 40 种,灌木层植物种类较少,调查的很多样地根本没有灌木层,特别是 S322, S251, S253 均存在这种问题,灌木层的缺失,影响整个植物群落最佳功能的发挥。4 条省道的优势种组成有一定差异,但一些植物为 4 条省道的共同优势种,例如乔木层的杨树、女贞,灌木层的龙柏、大叶黄杨,草本层的三叶草、芦苇,它们对维持 4 条省道植物群落的稳定性及生态功能发挥了重要作用,为徐州地区省道绿化的重要植物。从重要值前 5 位的大小来看,灌木层植物之间的变幅较乔木层小,说明它们在群落中发挥的作用差异较小。草本层人工播种的三叶草在 4 条省道的重要值均排在第 1 位,这说明草本层的人工绿化种类主要是三叶草,并且省道绿化的重点放在了乔木层,忽略了灌、草层植物的优化。

(2) Shannon—Weiner 指数是群落多样性的综合反映,它包含了植物的种类及其个体分配的均匀性两个方面,因此 Shannon—Weiner 指数和 Pielou 指数、丰富度指数密切相关,Shannon—Weiner 指数越大,其群落稳定性越强,可持续性越强^[10-11]。乔木层的 Shannon—Weiner 指数大小排序为 S323>S322>S253>S251,灌木层的 Shannon—Weiner 指数的排序为 S323>S322>S251>S253,草本层 Shannon—Weiner 指数的排序为 S253>S323>S322>S251,综合 Shannon—Weiner 指数的排序为 S323>S322>S253>S251。S323 除了草本层的多样性指数排在第 2 位,其余均排在第 1 位,S251 除了灌木层外,其余均排在最后,这说明 S323 植物群落的整体生态功能最好,而 S251 植物群落的整体生态功能最差,群落的综合生态功能和效益主要由乔灌层特别是乔木层来控制^[12-13]。

(3) 在 4 条省道上都出现的植物种为杨树、女

贞、垂柳、紫薇、龙柏、大叶黄杨、三叶草、马唐、狗牙根、狗尾草、铁杆蒿、芦苇、菵草、反枝苋、浮萍。这说明杨树、女贞、垂柳、紫薇、龙柏、大叶黄杨是徐州地区省道绿化的主要植物种类,而草本群落无系统绿化,除了三叶草之外,均为自然恢复的结果。两两省道的相似性指数均大于 30%,这说明 4 条省道的绿化存在较大的相似性,但主要是草本植物的共有种起着重要作用,4 条省道两两之间的相似性指数均没有超过 50%,说明每条省道在绿化模式上存在着一定差异。从调查结果可看出,徐州地区省道的绿化模式随意性较大,没有经过系统规划和设计,特别是乡村地区的国道绿化基本上以自然恢复为主。

(4) 通过对 4 条省道的多样性分析可以看出, S322, S253, S251 灌木种类偏少,杂草丛生,迫切需要进行道路绿化,增加灌木多样性。在进行道路绿化的过程中,需要乔灌草统一考虑,特别是增加草本植物的多样性以抑制杂草生长,增强道路的景观性。在进行调查中发现泡桐、苦楝、构树等乡土树种只在远离城市的偏远乡村才有,而且离城市越远,植物种类越单一、多样性越低。城市化对公路绿化产生了重要影响,有待于以后的深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] Xu Xianli, Zhang Keli, Kong Yaping. Effectiveness of erosion control measures along the Qinghai—Tibet highway, Tibetan plateau, China[J]. Transportation Research Part D, 2005(11):302-309.
- [2] Forman R T T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States[J]. Conservation Biology, 2000(14):31-35.
- [3] Jeannine T M, Mark T S. The establishment success of native versus non-native herbaceous seed mixes on a revegetated roadside in Central Texas[J]. Ecological Engineering, 2006(26):231-240.
- [4] 严岳鸿,何祖霞,苑虎,等. 坡向差异对广东古兜山自然保护区蕨类植物多样性的生态影响[J]. 生物多样性, 2011,19(1):41-47.
- [5] 田怀珍,邢福武. 南岭国家级自然保护区兰科植物多样性的海拔梯度格局[J]. 生物多样性, 2008,16(1):75-82.
- [6] 方世杰,舒安平. 半干旱区高速公路路域生态恢复工程植物多样性特征[J]. 公路交通科技, 2009,26(6):153-158.
- [7] 陈建业,陆旭东,王侗. 长白山区公路对路域植物物种组成及多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2010,19(2):373-378.
- [8] 朱晓勇,胡海波,鲁小珍,等. 太湖西区公路两侧植物物种多样性的研究[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2006,30(3):85-88.
- [9] 何汉杏,何秀春. 湖南舜皇山常绿阔叶林种类组成数量综合特征: II. 灌木、草本物种重要值[J]. 中南林学院学报, 2004,24(1):23-26.
- [10] 温璐,董世魁,朱磊. 环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响[J]. 生态学报, 2011,31(7):1844-1854.
- [11] 谭雪红,魏东,李林英,等. 山区公路边坡自然恢复与人工恢复的比较研究[J]. 公路, 2010(5):169-172.
- [12] Davide G B. Biodiversity impact assessment of roads and approach based on ecosystem rarity[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2003,23(3):343-365.
- [13] 廖飞勇. 风景园林生态学[M]. 北京:中国林业出版社, 2010:152-156.
- [7] 吴险峰,刘昌明,王中根. 栅格 DEM 的水平分辨率对流域特征的影响分析[J]. 自然资源学报, 2003,18(2):148-154.
- [8] 王培法. 栅格 DEM 的尺度与水平分辨率对流域特征提取的分析:以黄土岭流域为例[J]. 江西师范大学学报:自然科学版, 2004,28(6):549-554.
- [9] 易卫华,张建明,匡永生,等. 水平分辨率对 DEM 流域特征提取的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2007,23(2):34-38.
- [10] Duan Wenjun, Ren Hai, Fu Shenglei, et al. Natural recovery of different areas of a deserted quarry in South China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2008,20(4):476-481.
- [11] 袁剑刚,周先叶,陈彦,等. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征[J]. 生态学报, 2005,25(6):1517-1522.
- [12] Oliveira G, Nunes A, Clemente A, et al. Effect of substrate treatments on survival and growth of Mediterranean shrubs in a revegetated quarry: an eight-year study[J]. Ecological Engineering, 2011, 37(2):255-259.
- [13] Maisto G, Marco A, Nicola F, et al. Suitability of two types of organic wastes for the growth of sclerophyllous shrubs on limestone debris: a mesocosm trial[J]. Science of the Total Environment, 2010,408(7):1508-1514.
- [14] Toy T J, Hadley R F. Geomorphology of disturbed lands[M]. New York: Academic Press, 1987.
- [15] 左长清,胡根华,张华明. 红壤坡地水土流失规律研究[J]. 水土保持通报, 2003,17(6):89-91.

(上接第 174 页)