

肖威,纪易凡,殷明,等.南通市干线公路绿化植物多样性调查和分析[J].江苏农业科学,2019,47(22):183-187.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.042

# 南通市干线公路绿化植物多样性调查和分析

肖威<sup>1</sup>,纪易凡<sup>1</sup>,殷明<sup>1</sup>,徐建华<sup>1</sup>,华建峰<sup>1</sup>,陆晓丽<sup>2</sup>

(1.江苏省中国科学院植物研究所,江苏南京 210014; 2.南通市公路管理处,江苏南通 226001)

**摘要:**公路绿化植物多样性的研究和利用对于提升公路绿化建设质量和水平具有重要意义。以江苏省南通市主要干线公路 G15、G228、G204、S334 和 S335 为研究对象,运用群落学方法对 5 条公路绿化带人工植物群落的物种组成、数量特征、物种多样性及群落相似性等进行调查和比较分析。结果表明,植物群落物种数表现为乔木种类 > 灌木种类 > 草本种类,乔木在群落结构组成中占据主导地位。在绿化带乔木层中杨树(*Populus simonii* var. *przewalskii*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、中山杉(*Taxodium hybrid* ‘*Zhongshanshan*’)和香樟(*Cinnamomum camphora*)的重要值较高。在灌木层中夹竹桃(*Nerium indicu*)、红叶石楠(*Photinia × fraseri*)和海桐(*Pittosporum tobira*)重要值较高。利用 Shannon - Wiener 指数表征 5 条公路乔木层植物多样性,排序为 G204 > S334 > G15 > G228 > S335。公路间群落相似系数均介于 0.29 ~ 0.42,相似度较高。揭示了南通地区公路绿化植物群落结构特征和景观特点,可为公路绿化植被的科学管理提供理论依据。

**关键词:**干线公路;植物群落;重要值;多样性指数

**中图分类号:** TU985.18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)22-0183-05

公路绿化是我国国土绿化的重要组成部分,如何通过对植物多样性的研究和应用来提高公路绿化的景观多样性和景观质量,已经成为当前我国公路绿化研究的重点课题之一<sup>[1-4]</sup>。前人对公路植物多样性的研究大多是针对公路周边自然植物群落物种多样性,并以此来推测运用这些植物材料构建人工植物群落的可能性和可行性,对于已建成公路人工植物群落的研究则较缺乏<sup>[5]</sup>。例如龚琴等通过对广梧高速公路两侧野生乡土植物资源的调查,提出公路两侧绿化带和边坡的植物群落构建模式<sup>[6]</sup>;谢振华等应用数量生态学方法对京珠高速公路(衡阳段)乡土植物种类进行研究,并提出力求使路段沿线的植被恢复获得最佳效果的乔灌草配置模式<sup>[7]</sup>;殷云龙等通过对江苏全省干线公路绿化树种资源的调查,分析树种结构因子与地理和经济的联系<sup>[8]</sup>。由于江苏省公路网的整体格局已基本形成,公路绿色通道体系已由建设阶段进入恢复和重建阶段,因此迫切需要对公路绿地系统的植物多样性开展系统研究,以便为公路绿化植物群落构建和景观质量提升提供理论依据。本研究运用群落学方法对 5 条公路绿化带植物群落的物种组成、数量特征、物种多样性及群落相似性等进行调查和比较分析,揭示江苏省南通地区干线公路绿化植物群落的结构特征和景观风貌,以期为南通市乃至其他类似地区的公路绿化管理和景观质量提升提供借鉴,为构建近自然人工植被群落提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查线路和调查样带设置

按公路等级分别选取 G15、G228、G204、S334 和 S335 作为研究对象,其中 3 条纵向干线,2 条横向干线,具有区域代表性,这 5 条干线公路基本反映了当前南通市干线公路绿化的整体水平。每隔 10 km 选取一段公路绿化典型段作为调查样带,共选定 48 个调查样带,具体见图 1。

### 1.2 植物群落调查方法

在植物生长最茂盛、植株形态特征最明显的 7—9 月进行植物群落调查。在样带选取时,以一个完整的绿化模式为单位,选择群落结构完整、植物种类丰富、观赏价值高、具有代表性的模式段,选取样带长度为 500 ~ 800 m。在实地调研时,首先要确定样带起止桩号、长度、宽度。调查使用的工具主要有围尺、卷尺、测高仪、数码相机、行车记录仪等,调查方式包括拍摄视频和照片、记录各样带内公路绿化宽度、立地条件、植物种类组成等情况,分别调查和测定乔木层、灌木层、草本层的相关数据。乔木层(高度 > 2 m)测定指标包括种名、胸径、树高、冠幅、冠形、植株密度、种植形式、郁闭度、树木抵触情况、叶脱落情况等;灌木层(高度 ≤ 2 m)测定指标:种名、高度、地径、植被面积、植株密度、种植形式、应用形式、郁闭度、健康等级等;草本层测定指标包括种名、高度、植被面积、长势情况等。公路绿地中的地被多为草本或匍匐藤本植物,成片栽植,分别统计同一种类的覆盖面积。部分数量较少的野生杂草只记录种名,不进行面积统计。

### 1.3 群落特征参数计算

群落特征参数包括相对多度(relative abundance, RA)、相对频度(relative frequency, RF)、盖度(cover - degree)即相对投影盖度(relative cover - degree, RC)和相对显著度(relative dominance, RD)<sup>[9-10]</sup>,以此计算乔、灌木重要值(importance

收稿日期:2018-09-17

基金项目:江苏省交通运输厅科研计划(编号:2014Y22)。

作者简介:肖威(1993—),男,湖北赤壁人,硕士研究生,主要从事风景园林规划设计研究。E-mail:785063291@qq.com。

通信作者:华建峰,博士,研究员,主要从事植物生态学研究。E-mail:shiqin.cnbg@qq.com。

value)。其中：

乔木重要值 = 相对多度 + 相对频度 + 相对显著度；

灌木重要值 = 相对频度 + 相对投影盖度。

调查发现,公路绿化以乔木和灌木为主,地被草本层在公路绿化群落中的地位和作用相对较小,因此着重对乔木层、灌木层植物重要值进行计算分析。



图1 南通市主要干线公路调查样带

### 1.4 群落物种多样性调查

按照 Simpson 指数、Shannon - Wiener 指数、Pielou 均匀度指数分析方法进行多样性调查<sup>[11]</sup>。

### 1.5 群落相似度调查

群落相似度以 2 区域或 2 群落的共有种数量与所有种的比值即相似系数来表示<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 乔木层植物生长状况分析

在南通市公路绿地系统中乔木层是植物群落中最主要的组成部分。由表 1 可知,乔木总密度最大的干线公路是 G204,为 1 548 株/hm<sup>2</sup>;其次是 S334、G228,分别为 1 129、

1 018 株/hm<sup>2</sup>,这 3 条为近几年新建或扩建的干线公路,按江苏省公路绿色通道建设要求高标准建设而成,乔木植株总密度均超过 1 000 株/hm<sup>2</sup>,但乔木平均胸径、平均高度和平均冠径相对较小,其中 G228 全线紧贴海岸布设,地质、水文条件较为恶劣,全线盐渍土路段长达 72 km,含盐量为 5% ~ 8%,占全线长度的 14%,潮汐、海水、海风、盐雾等对公路绿化的影响极大,植物生长条件较差,因此乔木平均胸径、树高、冠径均最小;S335 与 G15 公路绿化带建成时间较长,乔木平均胸径、树高、冠幅较大,其中 G15 公路两侧绿化植物由于生长时间较长,且速生杨树较多,所以乔木的平均胸径、树高、冠幅最大。5 条公路,植物群落的常绿乔木种数均低于落叶乔木种数。

表 1 5 条干线公路乔木层物种结构特征比较

平均值	乔木胸径 (cm)	乔木树高 (m)	乔木冠径 (m)	乔木密度 (株/hm <sup>2</sup> )	乔(种) : 灌(种) : 草(种)	常绿乔木(种) : 落叶乔木(种)	常绿乔木(株) : 落叶乔木(株)
G228	7.13	3.03	1.81	1 018	28 : 23 : 8	9 : 19	1.3 : 1
G15	16.96	3.83	3.16	697	23 : 13 : 12	7 : 16	0.5 : 1
G204	9.74	3.21	2.22	1 548	25 : 22 : 3	6 : 19	0.9 : 1
S335	11.98	3.70	2.70	841	13 : 11 : 6	5 : 8	0.8 : 1
S334	9.09	3.27	2.03	1 129	18 : 15 : 6	7 : 11	1.0 : 1

植物物种数最多的干线公路是 G228,共有 59 种;其次是 G204,共有 50 种;最少的是 S335,共有 30 种;G15 和 S334 的物种数分别为 48 种和 40 种。5 条公路调查样带中的木本植物物种数均大于 20 种,其中 G228 最为丰富,有 51 种;S335 最少,为 24 种;G204、G15 和 S334 分别为 47 种、36 种和 33 种。草本植物种数最丰富的是 G15,共有 12 种;其次是 G228,有 8 种;G204 最少,为 3 种;S334 的草本植物种数和

S335 一样,均为 6 种。通过比较 5 条公路的乔木、灌木和草本植物物种数可知,5 条公路的草本植物种类所占比例均较低,G15 的草本植物占比最大,乔 : 灌 : 草接近 2 : 1 : 1。5 条干线公路普遍存在草本植物数量过低的情况,可能是由于林带树木覆盖度过高,间隙小,不利于野生种入侵。

### 2.2 植物群落物种的数量特征分析

2.2.1 乔木层物种数量特征 调查发现,乔木层主要树种有

杨树(*Populus simonii* var. *przewalskii*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、雪松(*Cedrus deodara*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、柳树(*Salix babylonica*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、榉树(*Zelkova serrata*)、黄山栎树(*Koelreuteria paniculata*)、合欢(*Albizia julibrissin*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、中山杉(*Taxodium hybrid* ‘*Zhongshanshan*’)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、枇杷(*Eriobotrya japonica*)、二乔玉兰(*Yulania × soulangeana*)、垂丝海棠(*Malus halliana*)、紫叶李(*Prunus cerasifera* f. *atropurpurea*)、广玉兰(*Magnolia grandiflora*)、喜树(*Camptotheca acuminata*)、池杉(*Taxodium distichum* var. *imbricatum*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、无患子(*Sapindus saponaria*)和日本晚樱(*Cerasus serrulata* var. *lannesiana*)。由表2可知,在5条干线公路的乔木层中,重要值排在前面的树种表现出了一定的相似性,G15、G228、G204和S334的乔木重要值排在前3位的树种既

有针叶树,也有阔叶树,且针叶树表现出很大的优势,由此可见,在公路绿化造林中,针阔叶混合运用较为常见。G228和G204的乔木重要值最大的树种均是常绿阔叶树种女贞,其他3条公路的调查样带中女贞也表现出较强的优势度,由此可见,女贞在南通市干线公路绿化植物群落中占有优势地位。其他表现出明显优势的常绿阔叶骨干树种还有香樟和广玉兰等。总体来看,在落叶阔叶树种中榉树、银杏、黄山栎树和柳树等在各群落中均有较大的优势,尤其是银杏和榉树作为秋色叶景观树种优势十分明显。另外紫薇、紫叶李作为干线公路绿地系统中重要的观花小乔木,应用十分广泛,且优势地位明显,重要值排名均在前5位。从重要值排名前3位的植物群落来看,G228、G204和S334的物种相似度较高。各群落间重要值排在后几位的树种则各不相同,无太大的一致性,主要以阔叶树种为主,有落叶树种,也有常绿树种。

表2 5条干线公路植物群落乔木重要值排序

重要值排序	乔木层物种				
	G15	G228	G204	S334	S335
1	杨树	女贞	女贞	中山杉	香樟
2	银杏	中山杉	中山杉	雪松	黄山栎树
3	雪松	银杏	紫薇	榉树	女贞
4	香樟	紫薇	紫叶李	紫薇	紫叶李
5	紫薇	紫叶李	广玉兰	池杉	紫薇
6	柳树	榉树	银杏	女贞	重阳木
7	女贞	柳树	垂丝海棠	银杏	柳树
8	榉树	香樟	日本晚樱	广玉兰	桂花
9	黄山栎树	怪柳	黄山栎树	紫叶李	杨树
10	合欢	枇杷	雪松	香樟	无患子
11	刺槐	二乔玉兰	重阳木	桂花	银杏
12	中山杉	垂丝海棠	喜树	桃树	日本晚樱

2.2.2 灌木层物种数量特征 调查发现,灌木层主要树种有夹竹桃(*Nerium indicum*)、蜀桧(*Sabina chinensis* cv. *Pyramidalis*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、蚊母树(*Distylium racemosum*)、大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、海桐(*Pittosporum tobira*)、木槿(*Hibiscus syriacus*)、金边黄杨(*Euonymus japonicus* var. *aurea - marginatus*)、木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)、红叶石楠(*Photinia × fraseri*)、金森女贞(*Ligustrum japonicum* ‘*Howardii*’)、海滨木槿(*Hibiscus hamabo*)、云南黄馨(*Jasminum mesnyi*)、铺地柏(*Juniperus procumbens*)、桃叶珊瑚(*Aucuba chinensis*)、短穗竹(*Semiarundinaria densiflora*)、紫荆(*Cercis chinensis*)、粉花绣线菊(*Spiraea japonica*)和日本珊瑚树(*Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*)。由表3可知,5条干线公路植物群落灌木重要值排名靠前的树种也表现出了很强的相似性,重要值排前3位的主要为夹竹桃、红叶石楠和海桐,其中夹竹桃表现出了明显的优势。由于夹竹桃萌发能力强,树形和绿量庞大,花色繁茂,常作为绿化带前景树种应用。蜀桧、夹竹桃、红叶石楠、海桐、金边黄杨、木槿、金森女贞等在5条干线公路绿地中优势明显,这是由于这些植物对干旱等恶劣环境的适应性较强,对汽车尾气污染具有较强的抗性,是用于中分带绿化的适宜树种。

2.2.3 草本层物种数量特征 除麦冬(*Ophiopogon japonicus*)和葱兰(*Zephyranthes candida*)主要用于中分带绿化外,草本层植物主要是指绿化带的下层植物。对各调查样带草本层的植物种类进行调查统计,由表4可知,主要栽培种有美人蕉(*Canna indica*)、白三叶(*Trifolium repens*)和芦竹(*Arundo donax*)等,野生种有结缕草(*Zoysia japonica*)、互花米草(*Spartina alterniflora*)、二色补血草(*Limonium bicolor*)、萝藦(*Metaplexis japonica*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)和白茅(*Imperata cylindrica*)等。从种类来看,野生种已占到调查种类的50%。因此,随着时间的推移,野生种的比例将会逐年增加。部分栽培草种可能很快会被野生草种取代。

### 2.3 群落的物种多样性指数分析

由于公路植物群落中,乔木层相对重要,本研究对乔木层物种多样性指数进行统计分析。由表5可知,5条干线公路乔木层 Simpson 指数由大到小的排序是 S334 > G204 > G15 > S335 > G228, Shannon - Wiener 指数由大到小的顺序为 G204 > S334 > G15 > G228 > S335。不同干线公路乔木层的 Simpson 指数差异不大,而 Shannon - Wiener 指数则差异较明显,因此 Shannon - Wiener 指数可以更好地反映物种数与物种个体数之间的关系。然而,只考虑物种数和个体数量是不够的,分析群落多样性时还应考虑群落中物种个体分布的均

表3 5条干线公路植物群落灌木重要值排序

重要值排序	灌木层物种				
	G15	G228	G204	S334	S335
1	夹竹桃	红叶石楠	金丝桃	红叶石楠	夹竹桃
2	蜀桧	海桐	红叶石楠	夹竹桃	海桐
3	火棘	金森女贞	海桐	海桐	金森女贞
4	蚊母树	夹竹桃	金边黄杨	铺地柏	小叶黄杨
5	大叶黄杨	蜀桧	蜀桧	蜀桧	火棘
6	海桐	木槿	夹竹桃	桃叶珊瑚	石楠
7	木槿	海滨木槿	云南黄馨	短穗竹	红叶石楠
8	金边黄杨	大叶黄杨	金钟花	紫荆	日本珊瑚
9	木芙蓉	云南黄馨	毛鹃	粉花绣线菊	铺地柏
10	红叶石楠	铺地柏	铺地柏	红叶石楠	蜀桧

表4 草本层植物种类

生活型	植物名称
地上芽植物	白三叶( <i>Trifolium repens</i> )
地面芽植物	美人蕉( <i>Canna indica</i> )
	萱草( <i>Hemerocallis fulva</i> )
	结缕草( <i>Zoysia japonica</i> )
	互花米草( <i>Spartina alterniflora</i> )
	芦竹( <i>Arundo donax</i> )
	金鸡菊( <i>Coreopsis drummondii</i> )
	白茅( <i>Imperata cylindrica</i> )
	二色补血草( <i>Limonium bicolor</i> )
	萝藦( <i>Metaplexis japonica</i> )
隐芽植物	麦冬( <i>Ophiopogon japonicus</i> )
	阔叶麦冬( <i>Liriope muscari</i> )
	鸢尾( <i>Iris tectorum</i> )
	葱兰( <i>Zephyranthes candida</i> )
一年生植物	二月兰( <i>Orychophragmus violaceus</i> )
	田菁( <i>Sesbania cannabina</i> )
	一年蓬( <i>Erigeron annuus</i> )
	狗尾草( <i>Setaria viridis</i> )
	藜( <i>Chenopodium album</i> )
	波斯菊( <i>Cosmos bipinnatus</i> )

表5 5条干线公路的乔木层物种多样性指数比较

地点	Simpson 指数	Shannon - Wiener 指数	Pielou 指数/Jsi	Pielou 指数/Jsw
G15	0.891	2.504	0.932	0.799
G228	0.860	2.403	0.892	0.721
G204	0.895	2.550	0.932	0.792
S334	0.910	2.526	0.964	0.874
S335	0.870	2.198	0.943	0.857

匀程度。Pielou 均匀度指数则把群落中个体的均匀度纳入了度量范围,这里分别选用基于 Simpson 指数的 Jsi 和 Shannon - Wiener 指数的 Jsw,5 条干线公路的均匀度指数 Jsi 由高到低的排列顺序为 S334 > S335 > G15 = G204 > G228,指数 Jsw 和 Jsi 的排序相似。

#### 2.4 群落相似性比较

从表6可以看出,G15和S334、G228和G204的群落物种相似性度最高,均为0.42,相似度最低的是G228和S334,为0.24。其他公路间两两比较的相似性系数均在0.29~0.42

之间,说明5条干线公路植物群落间物种相似性均较大<sup>[12]</sup>,其景观风貌表现较为相似,共有种有银杏、女贞、紫薇、夹竹桃、海桐等。

表6 5条干线公路群落相似性系数

地点	G15	G228	G204	S334	S335
G15	—	0.29	0.38	0.42	0.37
G228		—	0.42	0.24	0.39
G204			—	0.39	0.33
S334				—	0.37
S335					—

### 3 结论与讨论

本研究中5条干线公路的植物群落物种数表现为乔木种类 > 灌木种类 > 草本种类,乔木在结构配置中占据主导地位。这是由于乔木树种具有生态适应性广、绿量大、养护成本低和固碳释氧等生态效益高等优点,体现了公路绿化注重生态效益的基本要求。5条干线公路的乔木层以杨树、女贞、中山杉和香樟的重要值较高。榉树、银杏、黄山栎树、柳树等乔木树种,在干线公路绿化中的应用也较为普遍。紫薇、紫叶李等色叶小乔木树种的应用较为普遍,主要作为绿化带中景或前景树种应用。由于南通地区处于太平洋季风气候区,台风是影响该地区树种选择的重要因素之一。杨树由于生长快,根系浅,每当7—8月台风肆虐时,很容易发生大面积倒伏和折断,不仅破坏路基,而且影响交通安全。因此在公路绿化中应减少杨树的使用,尤其是诸如G228这样更易遭受台风袭击的近海路段。中山杉属生根性树种,不仅耐水、耐盐,而且抗台风抗病虫害能力较强,在公路绿化中既可作为色叶乔木树种种植,也可作为女贞、香樟等常绿树种的背景树种植。

5条干线公路的灌木层以夹竹桃、红叶石楠和海桐的重要值较高,主要应用于绿化带内侧边缘种植。蜀桧、红叶石楠、海桐、金边黄杨、木槿、金森女贞等在5条干线公路绿化中应用也较为普遍,这是由于这些植物对盐碱、干旱、高温、冻害等极端环境的适应性较强,尤其适合在中分带种植。相对于乔木,灌木维持其良好景观状态的养护成本较高,一般在城市路段、中分带和互通立交等精细管理的路段应用频率较高,在绿化带种植中作为前景植物配置。

在公路绿化带植物配置中,草本植物对于充实林缘边缘线,丰富林下空间,构建开敞空间,保护水土生态等具有重要

作用。例如麦冬 (*Ophiopogon japonicus*) 和葱兰 (*Zephyranthes candida*) 等体型较小的草种比较适合在中分带种植; 鸢尾 (*Iris tectorum*)、美人蕉 (*Canna indica*) 和萱草 (*Heimerocallis fulva*) 等花型较大的观花植物适合在互通立交区种植; 二月兰 (*Orychophragmus violaceus*) 和波斯菊 (*Cosmos bipinnatus*) 等具有自繁能力的草花适合粗放管理条件下的林带和互通区种植。

5 条干线公路乔木层的 Shannon - Wiener 指数由大到小的顺序为 G204 > S334 > G15 > G228 > S335。均匀度指数 Jsi 由高到低的排列顺序为 S334 > S335 > G15 = G204 > G228, 这是由于 G204 绿化带宽度大, 建设标准高, 植物多样性丰富, 而 G228 由于临近沿海滩涂, 立地条件变化较大, 在进行绿化植物配置时, 难以做到均匀一致。公路间群落相似系数均介于 0.29 ~ 0.42, 相似度较高, 这是由于公路绿化植物的选择来源比较单一, 以常见绿化植物为主, 绿化植物模式配置变化不大。在今后的公路绿化景观改造和提升过程中很有必要引入“近自然森林”的概念, 所谓近自然森林是指接近自然状态的具有混交、复层、异龄等结构特征的森林。与同龄林相比,

近自然森林的林分结构复杂, 生物多样性丰富, 生态效益和景观价值高, 经营成本低, 林分生长量高, 现已被广泛认为是能够满足森林可持续经营的最有前景的营林方法<sup>[13-14]</sup>。高速公路绿色通道是一项永久性的生态基础设施, 在生态景观结构中起廊道作用, 既是生物多样性的生存场所, 也是不同斑块之间生物流通的桥梁。

总之, 南通市及江苏沿海地区土地资源丰富, 但森林资源缺乏, 生态林建设十分重要。本研究涉及的 5 条干线公路是南通市境内生态廊道体系构建的骨架, 因此绿化带建设的生态意义十分重要。在一些林带宽度大、养护粗放的路段可按照营造近自然林的要求, 创新种植模式。例如在树种选择方面, 应选择自然更新能力强的树种, 如栎树、南酸枣、枫香、无患子、香樟、棕榈、女贞、乌桕、榔榆、旱柳、臭椿、香椿、牡荆、白榆、麻栎、桤木、合欢、枫杨和榉木等<sup>[14]</sup>; 在种植模式方面, 将上层阳性乔木树种与下层耐阴树种结合起来种植, 为耐阴树种更新和生长创造条件(图 2)。在现有林分密度高的地块, 适度降低林分密度, 改善光照条件, 为乡土植物入侵创造条件等。

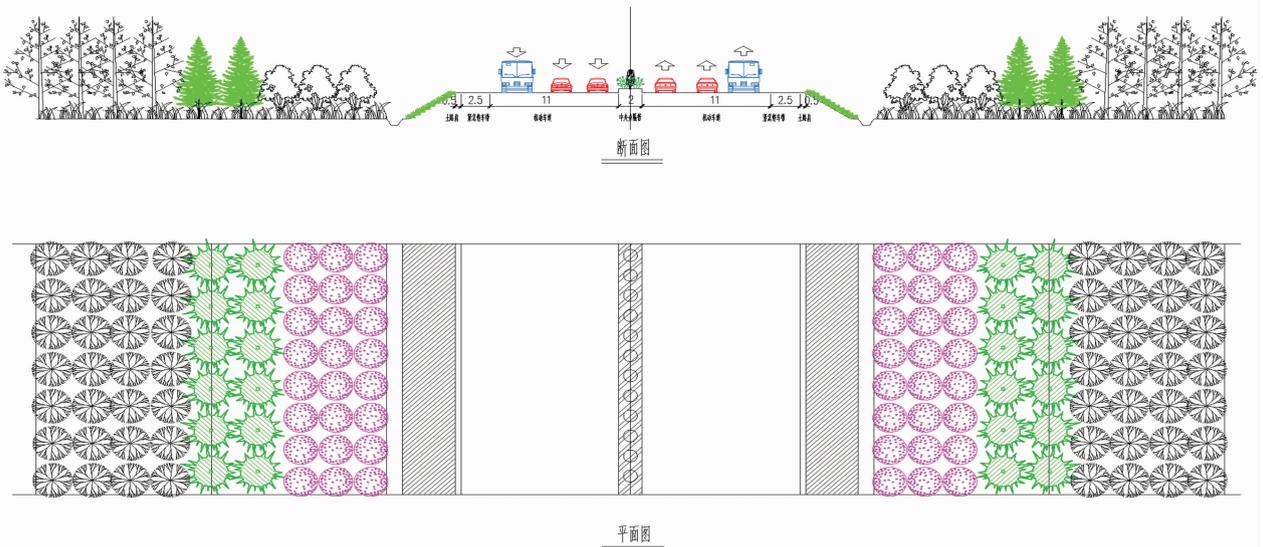


图2 高速公路绿化植物配置模式

#### 参考文献:

[1] 舒勇, 刘扬晶. 植物群落学研究综述[J]. 江西农业学报, 2008, 20(6): 51-54.

[2] 殷云龙, 王双生. 江苏省公路绿化建设理论与实践研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2012.

[3] 殷云龙, 王双生. 公路绿化服务与公路绿化建设标准的探讨[J]. 中国园林, 2004(10): 40-41.

[4] 袁黎, 陆键, 朱雷雷, 等. 高速公路绿化评价指标体系及评价方法研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(3): 150-153, 158.

[5] 黄大慰, 谭雪红, 孔繁呈, 等. 公路绿化植物多样性及其与土壤理化性质的相关性[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(1): 149-151.

[6] 龚琴, 周劲松, 刘东明. 乡土植物在广梧高速公路生态绿化中的应用[J]. 生态环境, 2007, 16(2): 486-491.

[7] 谢振华, 李红, 陈志阳. 京珠高速公路(衡阳段)乡土植物数量分类及其在生态绿化中的应用[J]. 中国农学通报, 2011, 27

(31): 310-316.

[8] 殷云龙, 徐建华, 张光宁, 等. 江苏公路绿地系统的树种结构与水平评价[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(3): 46-52.

[9] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法  $\alpha$  多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.

[10] 林鹏. 植物群落学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986.

[11] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.

[12] 容丽, 熊康宁, 李俊良. 花江喀斯特峡谷区不同石漠化等级植物群落区系特征及其相似度[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2011, 29(3): 9-13.

[13] 刘胜利. 近自然经营理念在落叶松人工林经营中的应用[J]. 辽宁林业科技, 2018(1): 58-60.

[14] 达良俊, 杨珏, 霍晓丽. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(VII): 上海浦东近自然森林十年间的动态变化及模式优化[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2011(4): 15-23.