

# 广州南沙区河涌沿岸植物景观特征及其与人类活动的关系

唐赛男<sup>1,2,3</sup>, 王 成<sup>1,2</sup>, 裴男才<sup>4</sup>, 张 昶<sup>1,2</sup>, 王子研<sup>1,2</sup>, 段文军<sup>1,2</sup>, 孙睿霖<sup>1,2</sup>

(1. 中国林业科学研究院 林业研究所 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 国家林业和草原局 城市森林研究中心, 北京 100091; 3. 国家林业和草原局 林产工业规划设计院, 北京 100010; 4. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

**摘要:** 为了解河涌沿岸植被特征及其与人类活动的关系, 选取广州市南沙区 4 条河涌作为研究对象, 对河涌沿岸的农业景观、工业景观和村落景观 3 种类型河段的植物景观特征进行了分析。结果表明: ①河涌沿岸植物共计有 70 科 126 属 144 种, 其中农业景观河段有 45 科 51 属 58 种, 工业景观河段有 25 科 33 属 40 种, 村落景观河段有 64 科 119 属 130 种。②河涌沿岸各景观类型河段植物区系分布均以广义热带成分为主, 占比均达 80% 以上, 符合所在区域气候特点。③植物功能需求差异和人为利用方式差异, 导致不同景观类型河段的优势植物组成产生差异。农业景观河段, 食用型果树表现出显著优势; 工业景观河段, 防护植物和城市绿化植物占有优势; 村落景观河段, 食用型果树和观赏型植物表现出显著优势。④3 种景观类型河段植物多样性特征存在差异, 植物丰富度、多样性和均匀度从高到低均为村落景观河段、农业景观河段、工业景观河段。⑤道路建设活动与农业景观河段乔木丰富度呈负相关。建筑物构造活动对各景观类型河段的植物多样性特征具有积极影响, 其中对农业景观河段的影响体现在乔木的多样性上, 对工业景观河段的影响体现在灌木的丰富度、多样性和均匀度上, 对村落景观河段的影响体现在乔木和灌木的丰富度、多样性上。图 3 表 7 参 36

**关键词:** 景观生态学; 河涌; 土地类型; 优势植物; 植物多样性; 人类活动

**中图分类号:** S718.5; Q149      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2019)02-0375-11

## Riparian plant landscape characteristics and its relationship with human activities in Nansha District, Guangzhou City

TANG Sainan<sup>1,2,3</sup>, WANG Cheng<sup>1,2</sup>, PEI Nancai<sup>4</sup>, ZHANG Chang<sup>1,2</sup>, WANG Ziyang<sup>1,2</sup>,  
DUAN Wenjun<sup>1,2</sup>, SUN Ruilin<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Urban Forest Research Center, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China; 3. Planning and Design Institute of Forest Products Industry, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100010, China; 4. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

**Abstract:** To understand the riparian plant characteristics and its relationship with human activities, this research selected 4 rivers in Nansha, Guangzhou City and analyzed the vegetation characteristics of riparian plants in agricultural landscape, industrial landscape and rural landscape. Results were as follows: (1) There were 144 species from 126 genera and 70 families, including 58 species from 51 genera and 45 families in agricultural landscape, 40 species from 33 genera and 25 families in industrial landscape, 130 species from 119 genera and 64 families in rural landscape. (2) Riparian floras were mainly tropical species, accounting for more than 80 per cent, which was consistent with the regional climate conditions. (3) Differences in func-

收稿日期: 2018-03-16; 修回日期: 2018-04-28

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404301); 国家自然科学基金面上项目(31570594)

作者简介: 唐赛男, 从事乡村景观与城市森林研究。E-mail: tangsn11@163.com。通信作者: 王成, 研究员, 博士生导师, 从事城市林业和森林生态研究。E-mail: wch8361@163.com

tional requirements and utilization patterns of plants led to differences in the dominant plant composition of different land types: edible fruit trees showed significant advantages in agricultural landscape; protective vegetation and urban greening vegetation showed significant advantages in industrial landscape; edible fruit trees and ornamental vegetation showed significant advantages in rural land. (4) There were differences in plant diversity characteristics in three land use types, and their plant richness, diversity and evenness were ranked as follows: rural landscape > agricultural landscape > industrial landscape. (5) Road construction activity was negatively correlated with tree richness in agricultural landscape. Building construction activities had positive impacts on the plant diversity of all land use types. The impacts on agricultural landscape were reflected in tree diversity and tree evenness; the impact on industrial landscape was reflected in shrub richness, diversity and evenness; the impacts on rural landscape were reflected in tree richness, diversity and shrub richness and diversity. [Ch, 3 fig. 7 tab. 36 ref.]

**Key words:** landscape ecology; river; land use type; dominant species; plant diversity; human activities

植物景观特征反映了植物群落结构和功能的复杂度,对维持植物生态系统结构和功能具有重要意义<sup>[1]</sup>。环境因素对植被特征的影响已成为相关领域的重要研究内容<sup>[2-5]</sup>,包括人类活动对植物区系特征<sup>[6]</sup>、植物多样性<sup>[7-9]</sup>和植物景观特征的影响<sup>[10-11]</sup>等。河岸带生态系统作为陆地生态系统和水生生态系统的生态过渡区<sup>[12]</sup>,其植物景观特征和影响因素近年来也受到广泛关注<sup>[13]</sup>,如何建设河岸带植物生态景观,是维持河岸带生态系统健康的重要问题<sup>[14]</sup>。目前,关于河岸带植物景观特征的研究多集中在自然河流生态系统方面<sup>[15-16]</sup>,而对于城市化地区河流植物景观特征的研究较少。广州市南沙区受珠江径流和人类开发活动的共同作用,形成了交错复杂的河涌水网,具有典型的珠江三角洲地域特色,其沿岸植被对河涌植物生态系统维持和景观风貌塑造具有重要意义。河涌沿岸不同于传统的自然生态河岸地带,带状分布着大量乡村居住区,形成南沙区独特的水乡景观<sup>[17]</sup>。本研究在分析河涌沿岸不同景观类型河段的植物景观特征差异的基础上,研究道路建设和建筑物构造等人类活动对不同景观类型河段的植物景观特征的影响,旨在了解人类活动与河涌沿岸植物生态系统和景观风貌的关系,以期为珠江三角洲地区河涌沿岸生态系统建设提供指导。

## 1 研究区概况

南沙区(22°77'N, 113°61'E)位于广州市最南端、珠江虎门水道西岸,距离广州市中心建成区 55 km,是西江、北江、东江三江汇集之处,由河沙淤积形成。该区属亚热带季风性海洋气候,年平均降水量为 1 647 mm,年平均气温为 22.2 °C,年平均相对湿度为 79%。近几十年来,在河沙淤积的基础上,人工挖掘而形成河涌,人们在河涌沿岸居住、生产,对沿岸土地进行利用,至今已形成 19 条主要河涌,即 1 涌到 19 涌。河涌沿岸整体植被覆盖率较低,以人工植被为主,在珠江三角洲地区具有非常典型的代表性。本研究在南沙区现有的 19 条主要河涌中,隔 4 km 等距选择 4 条已形成相对稳定植被的生态系统的河涌为研究对象,分别是 3 涌、7 涌、11 涌和 14 涌(图 1),对河涌沿岸植物景观特征及其与人类

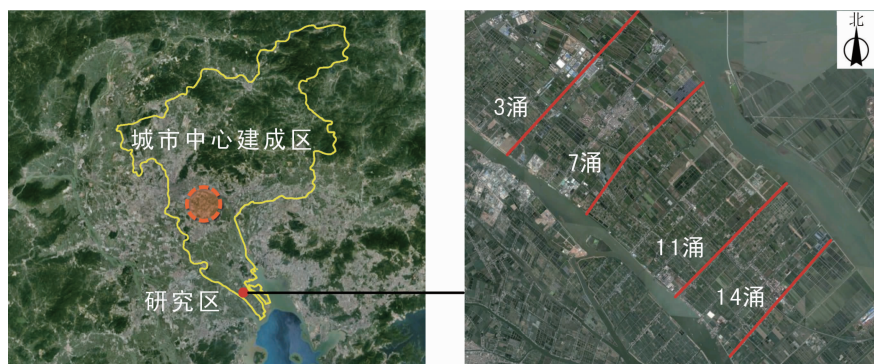


图 1 研究区位置示意图

Figure 1 Location of the study area

活动的关系进行研究。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

调查于 2016 年 7 月 28 日至 8 月 17 日在广州市南沙区进行。采用样带法，在研究区卫星影像上，沿河涌两岸河岸段隔 250 m 设置样方。在河涌左右两岸各设置样方 23 个·条<sup>-1</sup>，4 条河涌总计 184 个样方。每个样方内包括乔木、灌木和草本样方，其中乔木样方为 20 m × 20 m，灌木样方为 5 m × 5 m，草本样方为 1 m × 1 m。在乔木样方内测定记录乔木名称、株数、胸径及树高；在灌木和草本样方内测定记录植物名称、株数(丛数)、高度和盖度。

人类活动的影响体现在对河涌沿岸不同的土地利用方式上<sup>[18]</sup>。根据实地调查情况来看，河涌沿岸土地主要有农业、工业、村落等 3 种不同的土地利用方式，且 3 种类型的比例从大到小依次为村落用地、农业用地、工业用地。根据样方所处河段的用地类型，将样方划分为农业景观河段(共计 60 个)、工业景观河段(共计 17 个)和村落景观河段(共计 107 个)(图 2)。

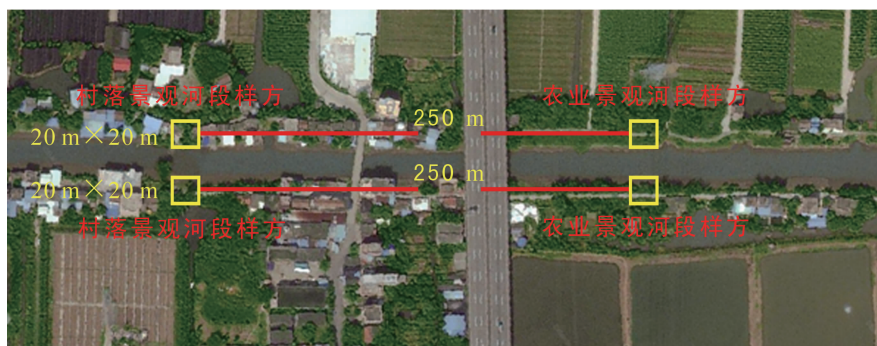


图 2 样地选择示意图

Figure 2 Sketch of plot selection

### 2.2 数据分析

2.2.1 多样性指数计算 根据植物多样性指数计算公式<sup>[14]</sup>，在实地调查的基础上，对南沙河涌沿岸植物多样性现状进行计算分析。

2.2.2 植物区系分析 采用吴征镒<sup>[19]</sup>对中国种子植物属级分布区的划分标准，对南沙河涌沿岸植物进行种级的近似地理成分划分。植物区系结构相关研究<sup>[20]</sup>表明：通过代表性取样策略对区系结构的影响不明显。因此，尽管本研究各景观类型河段样方数不同，但选取的样方具有代表性，能够代表典型土地类型，进而代表南沙区河涌沿岸的整体植物区系特征。

### 2.3 人类活动因子选取

人类活动对植物群落结构及多样性具有重要影响。人类活动的干扰使得植物多样性及稳定性发生了变化<sup>[21]</sup>。道路建设在当前的研究中被认为是人类活动的显著标志<sup>[22]</sup>。但除道路建设以外，建筑物构造是人类活动的又一显著体现。因此，本研究选取道路邻近度、建筑物盖度、建筑物高度等人类活动因子，分析这些因子对植物多样性特征的影响。①道路邻近度(DR)：样方至最邻近道路的距离。道路邻近度越高，至道路距离越近。②建筑物盖度(BC)：样方内建筑总面积(仅为建筑占地面积，不包括庭院、道路等硬化地表)占样方面积的比例。③建筑物高度(BH)：样方内建筑物的平均高度。

## 3 结果与分析

### 3.1 植物构成

3.1.1 种类构成 调查记录到南沙河涌沿岸植物共有 70 科 126 属 144 种(表 1)。按不同景观河段类型和植物生活型来分，农业景观河段植物有 45 科 51 属 58 种，占总种数的 40.3%，其中乔木种类最多(26 种)；工业景观河段植物有 25 科 33 属 37 种，占总种数的 25.7%，其中乔木种类最多(20 种)；村落景观河段植物有 64 科 119 属 130 种，占总种数的 87.2%，其中乔木种类最多，达 56 种。结果表明：南沙河



涌沿岸不同景观类型河段的植物种类存在差异, 植物种类丰富度从高到低依次为村落景观河段、农业景观河段、工业景观河段。从植物生活型来看, 3 种景观类型河段的植物种类丰富度从高到低依次为乔木, 灌木, 草本。

表 1 河涌沿岸植物构成情况

Table 1 Riparian vegetation species composition

| 河段景观类型 | 乔木种数/种        | 占乔木总数比例/% | 灌木种数/种        | 占灌木总数比例/% | 草本种数/种        | 占草本总数比例/% | 总植物种数/种         | 占调查植物种类总数比例/% |
|--------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|-----------------|---------------|
| 农业     | 26(25 科 24 属) | 41.9      | 17(9 科 13 属)  | 39.5      | 15(11 科 14 属) | 45.5      | 58(45 科 51 属)   | 40.3          |
| 工业     | 20(14 科 19 属) | 32.3      | 12(7 科 9 属)   | 24.5      | 5(4 科 5 属)    | 15.2      | 37(25 科 33 属)   | 25.7          |
| 村落     | 56(29 科 51 属) | 90.3      | 45(23 科 38 属) | 91.8      | 29(24 科 26 属) | 87.9      | 130(64 科 119 属) | 87.2          |
| 总计     | 62(33 科 56 属) | 100.0     | 49(26 科 40 属) | 100.0     | 33(27 科 31 属) | 100.0     | 144(70 科 126 属) | 100.0         |

3.1.2 属性构成 根据实地调查情况, 结合河涌沿线居民访谈, 将南沙河涌沿岸植物按其属性分为人工栽植型和自然生长型 2 类, 其中人工栽植型是指人为栽植在河涌沿岸的植物, 自然生长型是指在河涌沿岸自然生长的植物。据此对南沙河涌沿岸植物属性进行统计(表 2), 发现 3 种景观类型河段的植物属性存在差异。从植物种类上来看, 人工栽植型植物种类所占比例从大到小依次为工业景观河段、村落景观河段、农业景观河段。从植物数量上来看, 人工栽植型植物数量所占比例从大到小依次为村落景观河段、工业景观河段、农业景观河段。无论是种类还是数量, 农业景观河段都是自然生长型植物都占有优势; 村落景观河段都是人工栽植型植物占优势, 而工业景观河段在植物种类上趋于人工化。

表 2 河涌沿岸植物属性构成

Table 2 Riparian vegetation attribute composition

| 河段景观类型 | 总体情况   |       |        |       | 乔木     |       |        |       | 灌木     |       |        |       | 草本     |       |        |       |
|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|        | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       |
|        | 人工栽植型  | 自然生长型 | 人工栽植型  | 自然生长型 | 人工栽植型  | 自然生长型 | 人工栽植型  | 自然生长型 | 人工栽植型  | 自然生长型 | 人工栽植型  | 自然生长型 | 人工栽植型  | 自然生长型 | 人工栽植型  | 自然生长型 |
| 农业     | 65.5   | 34.5  | 28.1   | 71.9  | 76.9   | 23.1  | 87.4   | 12.6  | 76.5   | 23.5  | 21.7   | 78.3  | 33.3   | 66.7  | 13.5   | 86.5  |
| 工业     | 89.2   | 10.8  | 56.8   | 43.2  | 100.0  | 0.0   | 100.0  | 0.0   | 100.0  | 0.0   | 100.0  | 0.0   | 20.0   | 80.0  | 4.5    | 95.5  |
| 村落     | 86.9   | 13.1  | 79.5   | 20.5  | 94.6   | 5.4   | 98.0   | 2.0   | 95.6   | 4.4   | 98.8   | 1.2   | 58.6   | 41.4  | 36.2   | 63.8  |

3.1.3 来源构成 根据实地调查情况和河涌沿线居民访谈, 将南沙沿岸植物按其来源分为地带性植物与引入性植物, 其中地带性植物是指在河涌形成之初经人工栽植或自然生长在河涌沿岸, 如今已形成地带性植物景观风貌特色的植物; 引入性植物是指近年来, 经人工引入栽植于河涌沿岸的, 与当地植物景观风貌有所区别的植物(多为城市绿化植物)。据此对南沙河涌沿岸植物来源进行统计(表 3), 发现 3 种景观类型河段的植物来源存在差异。从植物种类来看, 地带性植物占比从大到小依次为农业景观河段、村落景观河段、工业景观河段。从植物数量来看, 地带性植物占比从大到小依次为农业景观河段、村落景

表 3 河涌沿岸植物来源

Table 3 Riparian vegetation source composition

| 河段景观类型 | 总体情况   |       |        |       | 乔木     |       |        |       | 灌木     |       |        |       | 草本     |       |        |       |
|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|        | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       | 种类比例/% |       | 数量比例/% |       |
|        | 地带性植物  | 引入性植物 | 地带性植物  | 引入性植物 | 地带性植物  | 引入性植物 | 地带性植物  | 引入性植物 | 地带性植物  | 引入性植物 | 地带性植物  | 引入性植物 | 地带性植物  | 引入性植物 | 地带性植物  | 引入性植物 |
| 农业     | 82.8   | 17.2  | 96.1   | 3.9   | 88.5   | 11.5  | 94.4   | 5.6   | 70.6   | 29.4  | 92.8   | 7.2   | 86.7   | 13.3  | 98.3   | 1.7   |
| 工业     | 40.5   | 59.5  | 52.5   | 47.5  | 40.0   | 60.0  | 18.7   | 81.3  | 16.7   | 83.3  | 5.5    | 94.5  | 100.0  | 0.0   | 100.0  | 0.0   |
| 村落     | 49.2   | 50.8  | 65.3   | 34.7  | 60.7   | 39.3  | 70.1   | 29.3  | 15.6   | 84.4  | 10.9   | 89.1  | 79.3   | 20.7  | 91.9   | 8.1   |

观河段、工业景观河段。无论是种类还是数量，农业景观河段的地带性植物都占绝对优势，工业景观河段地带性植物在乔木和灌木中占优势，村落景观河段地带性植物在乔木和草本中占有一定优势，外来性植物在灌木中占优势。相比农业景观河段明显的地带性植物景观风貌特色，工业景观河段和村落景观河段的地带性植物景观风貌特色相对较弱。

3.2 植物区系分布

对河涌沿岸植物种类的分布区类型进行统计(表 4)可知：南沙河涌沿岸植物区系分布类型多样，广义热带成分占主导，占比为 87.51%，其中泛热带分布和热带亚洲分布占比较高，分别达 38.19%和22.94%；广义温带成分占 11.10%；世界分布成分仅为 1.39%。表明南沙河涌沿岸植物分布整体符合其所属亚热带季风性海洋气候环境特点。进一步对不同景观类型河段的植物区系分布进行统计，发现在 3 种景观类型河段中，植物区系均以热带成分为主，占比均达 80%以上。表明尽管河涌沿岸景观类型受人类活动的影响出现分异，但是热带成分在植物分布中占有绝对优势，体现了区域气候条件在植物构成中的主导地位。

3.3 优势植物组成

对河涌沿岸的植物优势种进行调查分析(表 5)可知：不同景观类型河段的优势植物组成存在差异，这主要是由于人们对不同景观类型河段的植物功能需求存在差异，进而产生不同的植物利用方式所导致。

人们对农业景观河段的植物利用方式以种植乔木为主，食用为主要的植物功能需求，而对于灌木和草本利用较少，任其粗放生长。因此龙眼、黄皮、菠萝蜜等食用型果树在乔木中表现出极为显著的优

表 4 河涌沿岸植物区系的分布类型

| Table 4 Areal types of riparian plant species |               |       |        |       |
|-----------------------------------------------|---------------|-------|--------|-------|
| 植物区系代码                                        | 分布区类型         | 比例/%  | 大类区系类型 | 比例/%  |
| 1                                             | 世界分布          | 1.39  | 世界分布   | 1.39  |
| 2                                             | 泛热带分布         | 38.19 |        |       |
| 2-2                                           | 热带亚洲、非洲和南美洲间断 | 0.69  |        |       |
| 3                                             | 热带亚洲和热带美洲间断分布 | 8.33  |        |       |
| 4                                             | 旧世界热带分布       | 6.25  | 广义热带成分 | 87.51 |
| 5                                             | 热带亚洲至热带大洋洲分布  | 6.25  |        |       |
| 6                                             | 热带亚洲至热带非洲分布   | 4.86  |        |       |
| 7                                             | 热带亚洲分布        | 22.94 |        |       |
| 8                                             | 北温带分布         | 2.78  |        |       |
| 9                                             | 东亚和北美洲间断分布    | 0.69  |        |       |
| 10                                            | 旧世界温带分布       | 1.39  |        |       |
| 10-1                                          | 地中海区、西亚和东亚间断  | 1.39  | 广义温带成分 | 11.10 |
| 14                                            | 东亚分布          | 2.08  |        |       |
| 14-1                                          | 中国—喜马拉雅       | 2.08  |        |       |
| 14-2                                          | 中国—日本         | 0.69  |        |       |

表 5 河涌沿岸不同景观类型河段的优势种重要值

| Table 5 Importance value of dominant vegetation of different riparian land use type |                                     |      |                                  |      |                                  |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|
| 河段景观类型                                                                              | 乔木                                  |      | 灌木                               |      | 草本                               |      |
|                                                                                     | 物种名                                 | 重要值  | 物种名                              | 重要值  | 物种名                              | 重要值  |
| 农业                                                                                  | 龙眼 <i>Dimocarpus longan</i>         | 0.09 | 木薯 <i>Manihot esculenta</i>      | 0.08 | 香蕉 <i>Musa nana</i>              | 0.07 |
|                                                                                     | 黄皮 <i>Clausena lansium</i>          | 0.07 | 马缨丹 <i>Lantana camara</i>        | 0.05 | 非洲菊 <i>Gerbera jamesonii</i>     | 0.05 |
|                                                                                     | 苦楝 <i>Melia azedarach</i>           | 0.06 | 木瓜 <i>Chaenomeles sinensis</i>   | 0.04 | 猩猩草 <i>Euphorbia cyathophora</i> | 0.05 |
|                                                                                     | 菠萝蜜 <i>Artocarpus heterophyllus</i> | 0.05 | 夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>        | 0.03 | 小驳骨 <i>Gendarussa vulgaris</i>   | 0.03 |
|                                                                                     | 番石榴 <i>Psidium guajava</i>          | 0.05 | 忍冬 <i>Lonicera japonica</i>      | 0.02 | 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>         | 0.02 |
| 工业                                                                                  | 大叶桉 <i>Eucalyptus robusta</i>       | 0.20 | 假连翘 <i>Duranta repens</i>        | 0.21 | 小驳骨                              | 0.19 |
|                                                                                     | 柠檬桉 <i>Eucalyptus citriodora</i>    | 0.03 | 洒金珊瑚 <i>Aucuba japonica</i>      | 0.05 | 非洲菊                              | 0.05 |
|                                                                                     | 龙眼                                  | 0.03 | 金叶女贞 <i>Ligustrum vicaryi</i>    | 0.02 | 鬼针草                              | 0.02 |
|                                                                                     | 小叶榄仁 <i>Terminalia neotaliala</i>   | 0.02 | 山茶 <i>Camellia japonica</i>      | 0.02 | 豆瓣绿 <i>Peperomia tetraphylla</i> | 0.02 |
|                                                                                     | 白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>   | 0.01 | 木芙蓉 <i>Hibiscus mutabilis</i>    | 0.02 | 香蕉                               | 0.01 |
| 村落                                                                                  | 龙眼                                  | 0.15 | 三角梅 <i>Bougainvillea glabra</i>  | 0.09 | 香蕉                               | 0.07 |
|                                                                                     | 菠萝蜜                                 | 0.05 | 米仔兰 <i>Aglaia odorata</i>        | 0.06 | 豆瓣绿                              | 0.07 |
|                                                                                     | 番荔枝 <i>Annona squamosa</i>          | 0.04 | 木瓜                               | 0.04 | 银叶菊 <i>Senecio cineraria</i>     | 0.06 |
|                                                                                     | 黄皮                                  | 0.03 | 鹅掌柴 <i>Schefflera octophylla</i> | 0.02 | 非洲菊                              | 0.05 |
|                                                                                     | 苹婆 <i>Sterculia nobilis</i>         | 0.02 | 月季 <i>Rosa chinensis</i>         | 0.01 | 鬼针草                              | 0.03 |

势;灌木优势种除了人为栽植的木瓜以外,木薯、马缨丹等均为野生物种,草本优势种除了人为栽植的香蕉以外,其他均为野生物种。

人们对工业景观河段的植物利用方式以种植乔木和灌木为主,防护和绿化美化为主要的植物功能需求,对于草本很少利用。因此除了大叶桉、柠檬桉等防护型乔木表现出显著优势以外,小叶榄仁等城市绿化乔木也表现出一定优势,假连翘、洒金珊瑚、金叶女贞等城市常用园林绿化植物在灌木中占有绝对优势,草本优势种主要为小驳骨、鬼针草等野生物种。

人们对村落景观河段的植物利用方式以种植乔木和灌木为主,食用和观赏为主要的植物功能需求,对于草本很少利用。因此,龙眼、菠萝蜜、番荔枝、黄皮等可食用的果树在乔木占有绝对优势;三角梅、米仔兰等观赏型植物在灌木中表现出极显著的优势,而草本优势种除了人为栽植的香蕉以外,其他均为野生物种。

以上结果表明:食用、观赏、防护为南沙河涌沿岸植被的主要功能,功能需求导向下不同的人为植物利用方式导致优势植物组成产生差异。

### 3.4 植物多样性特征

从物种丰富度来看(图3A),农业景观河段为草本(2.3)>灌木(1.8)=乔木(1.8),工业景观河段为乔木(2.1)>灌木(1.3)=草本(1.3),村落景观河段为乔木(5.0)>灌木(2.9)>草本(2.1)。从物种多样性来看(图3B),农业景观河段为草本(0.61)>灌木(0.43)>乔木(0.34),工业景观河段为乔木(0.29)>灌木(0.19)>草本(0.13),村落景观河段为乔木(1.25)>灌木(0.89)>草本(0.58)。从物种均匀度来看(图3C),农业景观河段为草本(0.72)>灌木(0.58)>乔木(0.31),工业景观河段为灌木(0.28)>乔木(0.17)>草本(0.15),村落景观河段为灌木(0.84)>乔木(0.79)>草本(0.72)。

整体来看,南沙河涌沿岸植被丰富度较低,可能与经河沙淤积与人为开发利用共同作用有关。比较3种景观类型河段植物多样性特征差异,发现无论是丰富度、多样性还是均匀度,其大小都为村落景观河段>农业景观河段>工业景观河段。村落景观河段人类活动较其他景观类型河段频繁,说明人类活动对植物整体多样性具有积极影响,且主要体现在乔木和灌木上。从上述分析可知:人类活动在农业景观河段的植物利用方式主要为栽植乔木,而其多样性却比灌木和草本低,表明人类活动对农业景观河段的植物景观有所影响,但不是特别明显,自然、粗放的灌木和草本植物景观风貌仍是农业景观河段植物景观风貌的基调。工业景观河段植物整体多样性较低,这与树种单一,且多成线性栽植有关。

### 3.5 人类活动与植物多样性特征的关系

为了进一步分析人类活动与植物多样性特征之间的关系,选择道路邻近度(DR)、建筑物盖度(BC)和建筑物高度(BH)3个人类活动因子,对不同景观类型河段的植物多样性特征的关联度进行分析(表6)。

农业景观河段,乔木丰富度与DR呈显著负相关,乔木多样性与BC和BH呈显著正相关,乔木均匀度与BH呈显著正相关,灌木和草本的植物多样性特征与各人类活动因子无显著相关关系。表明人类活动主要对农业景观河段的乔木产生影响,其中道路建设对乔木丰富度影响显著,距离道路越近,人为栽植活动越频繁,乔木种类增加,在有建筑物(多为农舍)出现的情况下,居民栽植的果树和景观树种增多,乔木更加多样化且分布更加均匀。

工业景观河段,乔木和草本的植物多样性特征与人类活动因子无显著相关关系,灌木的丰富度、多

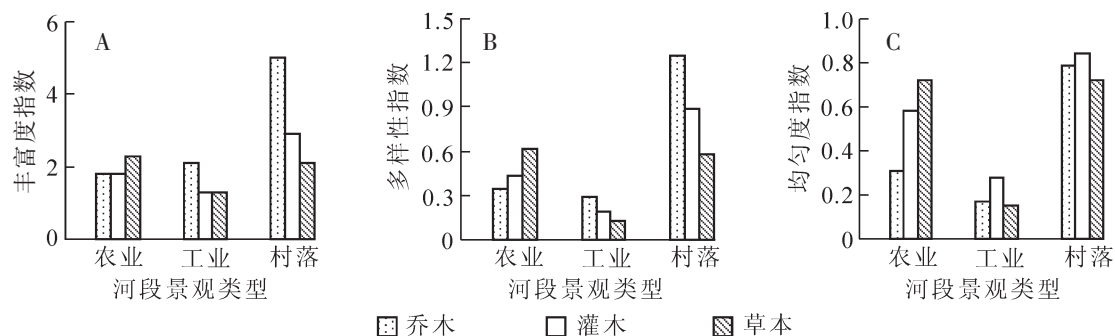


图3 河涌沿岸不同景观类型河段植物多样性特征比较

Figure 3 Comparison of plant diversity character of different riparian-type

表 6 人类活动对河涌沿岸不同景观河段类型植物多样性特征的影响

Table 6 Effects of human activities on plant diversity character of different riparian types

| 河段景观类型 | 植物生活型 | 植物多样性指数 | 道路邻近度(DR) | 建筑物盖度(BC) | 建筑物高度(BH) |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 农业     | 乔木    | 丰富度指数   | -0.493*   | 0.104     | 0.063     |
|        |       | 多样性指数   | -0.165    | 0.308*    | 0.323*    |
|        |       | 均匀度指数   | -0.241    | 0.232     | 0.300*    |
|        | 灌木    | 丰富度指数   | -0.103    | 0.043     | 0.049     |
|        |       | 多样性指数   | -0.049    | 0.009     | 0.055     |
|        |       | 均匀度指数   | -0.013    | -0.063    | -0.033    |
|        | 草本    | 丰富度指数   | -0.064    |           |           |
|        |       | 多样性指数   | -0.085    |           |           |
|        |       | 均匀度指数   | -0.153    |           |           |
| 工业     | 乔木    | 丰富度指数   | -0.273    | 0.409     | 0.309     |
|        |       | 多样性指数   | -0.286    | 0.475     | 0.347     |
|        |       | 均匀度指数   | -0.287    | 0.393     | 0.386     |
|        | 灌木    | 丰富度指数   | -0.110    | 0.504*    | 0.218     |
|        |       | 多样性指数   | -0.105    | 0.494*    | 0.004     |
|        |       | 均匀度指数   | -0.105    | 0.494*    | 0.004     |
|        | 草本    | 丰富度指数   | -0.103    |           |           |
|        |       | 多样性指数   | -0.109    |           |           |
|        |       | 均匀度指数   | 0.020     |           |           |
| 村落     | 乔木    | 丰富度指数   | -0.155    | 0.241*    | 0.415**   |
|        |       | 多样性指数   | -0.151    | 0.333**   | 0.042     |
|        |       | 均匀度指数   | -0.083    | 0.185     | 0.075     |
|        | 灌木    | 丰富度指数   | -0.114    | 0.231*    | -0.027    |
|        |       | 多样性指数   | -0.142    | 0.224*    | -0.097    |
|        |       | 均匀度指数   | -0.097    | 0.133     | -0.025    |
|        | 草本    | 丰富度指数   | -1.390    |           |           |
|        |       | 多样性指数   | -0.119    |           |           |
|        |       | 均匀度指数   | -0.073    |           |           |

说明：\* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关；\*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关

样性和均匀度都与 BC 呈显著正相关。表明在有工厂的地方，由于厂区绿化管理，灌木更加多样化且分布相对均匀，而乔木却没有出现相同的趋势，这可能与工业景观河段乔木种类比较单一有关(通常为 1 种防护或城市园林绿化树种)。

村落景观河段，乔木丰富度与 BC 和 BH 呈显著正相关，乔木多样性与 BC 呈显著正相关，灌木丰富度和多样性与 BC 呈显著正相关。表明在村落景观河段，房屋建设活动对乔木和灌木多样性有显著影响，随着建筑面积的增加，人类活动更加频繁且多样，乔木和灌木丰富度和多样性随之增加。通常受城市化的影响，BH 呈上升趋势，同时随着人们对植物审美需求的不断提高，乔木也更加多样化。

3.6 河涌沿岸植物生态系统建设途径

土地利用方式对河岸植被具有重要影响<sup>[23]</sup>。南沙河涌沿岸由于人们对土地不同的利用方式和具体活动而形成不同的景观河段，从而导致河涌沿岸农业景观河段、工业景观河段和村落景观河段的植物景观风貌特征产生明显差异。随着人类活动日益加强，南沙河涌沿岸植被景观特征呈现出城市化的趋势。什么样的植物配置能使河涌沿岸植物生态系统既发挥植物的生态功能，又不失地域特色，已成为需要探讨的问题。

基于本研究结果，针对不同景观类型河段植物景观特征及其与人类活动的关系，对河涌沿岸植物景



观建设从植物种类上提出相应策略(表 7), 在延续现有地带性植被风貌特征的基础上, 巩固生态系统, 丰富景观风貌, 突显地域特色。农业景观河段尽管受到了人类活动的影响, 但主要体现在乔木上, 且以栽植地带性植物为主。整体植物景观风貌自然, 地带性特色鲜明, 建议在保留现有自然粗放的植物景观风貌的基础上, 适当增加生态性较强且具有明显地域特色的地方乡土树种, 增加其生态防护功能, 如苦楝、榔榆、小叶相思等<sup>[24-25]</sup>。工业景观河段目前整体受城市化影响较大, 树种单一且风格城市化, 在今后的建设中应适当控制引入性植物种类, 多用白颜树、麻楝等乡土树种。村落景观河段由于其大量的建筑物构造活动, 人类活动最为频繁多样, 在这样的情况下, 受城市化影响, 大量引进城市绿化树种, 往往容易丧失地带性植物特征。乔木景观因其体量较大, 对整体植物景观风貌贡献最大, 建议将来的建设中延续现有乔木景观风貌, 同时结合居民的审美需求, 适当增加观赏性灌木。在 3 种景观类型河段中, 人类活动对草本的影响都很小, 建议保持现状即可。

表 7 南沙河涌沿岸植物景观建设及骨干树种建议表

Table 7 Suggestion of riparian vegetation construction and backbone tree species in Nansha

| 河段景观类型 | 植物主导功能 | 植物种类                                                                                                                                                                   |  |                                                            |                                             |
|--------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|        |        | 乔木                                                                                                                                                                     |  | 灌木                                                         | 草本                                          |
| 农业     | 生态     | 龙眼, 苦楝, 榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i> , 小叶相思 <i>Acacia caesia</i> , 菠萝蜜, 构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> , 黄槐 <i>Cassia surattensis</i> , 落羽杉 <i>Taxodium distichum</i> |  | 马缨丹, 木薯                                                    | 香蕉, 小驳骨, 绿竹 <i>Dendrocalamopsis oldhami</i> |
|        |        | 白颜树, 麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i> , 凤凰木 <i>Delonix regia</i> , 木棉 <i>Bombax malabaricum</i> , 白兰花 <i>Michelia alba</i> , 黄槐                                           |  | 马缨丹, 夹竹桃, 鸡蛋花 <i>Plumeria rubra</i> , 非洲菊, 豆瓣绿, 绿竹三角梅, 鹅掌柴 |                                             |
| 村落     | 生态+美化  | 龙眼, 黄皮, 苹婆, 荔枝 <i>Litchi chinensis</i> , 百香果 <i>Passiflora edulia</i> , 番石榴                                                                                            |  | 三角梅, 米仔兰, 鸡蛋花                                              | 香蕉, 非洲菊, 豆瓣绿                                |

4 结论与讨论

4.1 结论

调查河涌沿岸植物共计 70 科 126 属 144 种。农业景观河段植物有 45 科 51 属 58 种; 工业景观河段植物有 25 科 33 属 37 种; 村落景观河段植物有 64 科 119 属 130 种。南沙河涌沿岸植物区系分布主要以广义热带成分为主, 占比高达 87.51%, 与区域气候条件相符。各景观类型河段植物区系分布均以广义热带成分为主, 占比均达 80%以上。植物功能需求和人为利用方式差异导致不同景观类型河段的优势植物组成产生差异。农业景观河段中, 龙眼、黄皮、菠萝蜜等食用型果树表现出显著优势。工业景观河段中, 桉树、柠檬桉等防护植物和小叶榄仁等城市绿化植物占有优势。村落景观河段中, 龙眼、黄皮等食用型果树和三角梅、米仔兰等观赏型植物表现出显著优势。3 种景观类型河段的植物多样性特征存在差异, 植物丰富度、多样性和均匀度从高到低均为村落景观河段、农业景观河段、工业景观河段。道路建设和建筑物构造活动对南沙河涌沿岸植物多样性特征具有重要影响。道路建设活动(如 DR)对农业景观河段的植物多样性特征具有影响, 体现在乔木的丰富度上。建筑物构造活动(如 BC 和 BH)对各景观类型河段的植物多样性特征都有影响, 其中对农业景观河段的影响体现在乔木的多样性和均匀度上, 对工业景观河段的影响体现在灌木的丰富度、多样性和均匀度上, 对村落景观河段的影响体现在乔木和灌木的丰富度和多样性上。

4.2 讨论

本次调查的样地均处于南沙区, 自然气候条件相对一致, 植物景观特征理应具有很高的相似性。但从调查研究结果来看, 河涌沿岸植物景观特征存在差异, 其根本原因是沿岸景观类型不同, 说明河涌沿岸植物景观特征是由于不同的人为利用方式和活动而出现分异。人类活动对植物多样性具有影响, 在自然生态系统中, 人类活动干扰越小, 物种丰富度越高<sup>[26]</sup>。在半自然或人工生态系统中, 一定程度的人类活动干扰, 使得植物丰富度增加<sup>[27-30]</sup>。本研究中, 不同的景观类型河段, 人类活动程度和方式不同, 导



致植物多样性特征产生差异。相关研究<sup>[22]</sup>认为:至道路距离越近,植物多样性越高。本研究结果与上述学者观点一致,农业景观河段,道路建设活动对植物多样性有明显影响,道路邻近度越高,人类活动越频繁,乔木丰富度越高。城市化所引起的人类活动对植物生长环境产生破坏,植物多样性降低<sup>[31-32]</sup>。本研究与上述学者的观点稍有不同,选取了建筑物盖度和建筑物高度这2个受城市化影响较大的人类活动因子,分析其对植物多样性特征的影响。结果表明:建筑物盖度对各景观类型河段的植物多样性都具有明显影响。随着城市化快速发展,建筑物高度呈不断增加趋势,人们的审美需求亦日渐提升。在这样的背景下,人为活动愈加频繁,植物多样性增加,在村落景观河段的乔木丰富度和农业用地中的乔木多样性和均匀度方面表现明显。总的来看,建筑物构造活动对河涌沿岸植物多样性特征的影响较道路建设活动强,这可能是由于工业景观河段和村落景观河段的道路已经相对较密,故对植物多样性特征没有明显影响。

道路建设活动是人类活动的显著标志<sup>[22, 33-34]</sup>,从本研究结果来看,道路邻近度仅对农业景观河段的植物多样性具有影响,对工业景观河段和村落景观河段没有影响,这可能与当前对植物多样性研究多集中于相对自然的农村或城市郊区有关,城市化程度相对较低,因此,道路建设活动是显著的人类活动标志。相比当前研究将距离城镇中心作为反映人类活动的标志<sup>[35-36]</sup>,本研究选用更为具体的建筑物构造活动作为反映人类活动的标志,并表现出较强的指示性。因此,在今后的研究中,尤其是城市化程度相对较高的地区,建筑物构造活动可以被当作人类活动的显著标志,而道路建设活动能否作为指标反映人类活动还需结合研究区域实际情况进一步考虑。

## 5 致谢

本研究得到金一博、宋阳、王涵、徐珊珊、韩丹等的鼎力帮助。在此深表感谢!

## 6 参考文献

- [1] MIDGLEY G F. Ecology. Biodiversity and ecosystem function [J]. *Science*, 2012, **335**(6065): 174 – 175.
- [2] 徐远杰, 陈亚宁, 李卫红, 等. 伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释[J]. *植物生态学报*, 2010, **34**(10): 1142 – 1154.  
XU Yuanjie, CHEN Yaning, LI Weihong, *et al.* Distribution pattern and environmental interpretation of plant species diversity in the mountainous region of Ili River Valley, Xinjiang, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2010, **34**(10): 1142 – 1154.
- [3] 袁铁象, 张合平, 欧芷阳, 等. 地形对桂西南喀斯特山地森林地表植物多样性及分布格局的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, **25**(10): 2803 – 2810.  
YUAN Tiexiang, ZHANG Heping, OU Zhiyang, *et al.* Effects of topography on the diversity and distribution pattern of ground plants in karst montane forests in Southwest Guangxi, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2014, **25**(10): 2803 – 2810.
- [4] SONG Chuangye, CAO Mingchang. Relationships between plant species richness and terrain in middle sub-tropical Eastern China [J]. *Forests*, 2017, **8**(9): 344. doi: 10.3390/58090344.
- [5] 牛钰杰, 周建伟, 杨思维, 等. 坡向和海拔对高寒草甸山体土壤水热和植物分布格局的定量分解[J]. *应用生态学报*, 2017, **28**(5): 1489 – 1497.  
NIU Yujie, ZHOU Jianwei, YANG Siwei, *et al.* Quantitative apportionment of slope aspect and altitude to soil moisture and temperature and plant distribution on alpine meadow [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2017, **28**(5): 1489 – 1497.
- [6] 修晨, 欧阳志云, 郑华. 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析[J]. *生态学报*, 2014, **34**(6): 1535 – 1547.  
XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua. Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(6): 1535 – 1547.
- [7] 韦翠珍, 张佳宝, 周凌云. 沿黄河下游湿地不同土地利用方式植物多样性[J]. *东北林业大学学报*, 2011, **39**(8): 40 – 46.  
WEI Cuizhen, ZHANG Jiabao, ZHOU Lingyun. Plant diversity in wetlands along the lower yellow river under different types of land use [J]. *J Northeast For Univ*, 2011, **39**(8): 40 – 42.

- [8] 卢训令, 梁国付, 汤茜, 等. 黄河下游平原农业景观中非农生境植物多样性[J]. 生态学报, 2014, **34**(4): 789 – 797.
- LU Xunling, LIANG Guofu, TANG Qian, *et al.* Plant species of the non-agricultural habitats in the lower reaches of the Yellow River plain agro-landscape [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(4): 789 – 797.
- [9] MOGES A, BEYENE A, AMBELU A, *et al.* Plant species composition and diversity in wetlands under forest, agriculture and urban land uses [J]. *Aquatic Bot*, 2016, **138**: 9 – 15.
- [10] LÓPEZ S, WRIGHT C, COSTANZA P. Environmental change in the equatorial Andes: linking climate, land use, and land cover transformations [J]. *Remote Sens Appl Soc Environ*, 2016, **8**: 291 – 303.
- [11] AKINYEMI F O. Land change in the central albertine rift: insights from analysis and mapping of land use-land cover change in north-western Rwanda [J]. *Appl Geogr*, 2017, **87**: 127 – 138.
- [12] FORMAN R T T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [13] VANCE J A, ANGUS N B, ANDERSON J T. Riparian and riverine wildlife response to a newly created bridge crossing [J]. *Nat Resour*, 2012, **3**(4): 213 – 228.
- [14] 张昶, 王成, 孙睿霖, 等. 城市化地区河岸带植被特征及其与河岸硬度的关系: 以晋江市为例[J]. 生态学报, 2016, **36**(12): 3703 – 3713.
- ZHANG Chang, WANG Cheng, SUN Ruilin, *et al.* Relationships between riparian vegetation and shoreline hardness for urban rivers: a case study in Jinjiang city, Fujian Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, **36**(12): 3703 – 3713.
- [15] 石晓丹, 阮晓红, 吕学研. 南京外秦淮河河岸带原生植被初步调查[J]. 环境科学与管理, 2007, **32**(3): 84 – 88.
- SHI Xiaodan, RUAN Xiaohong, LÜ Xueyan. An preliminary study on the original vegetation in riparian zone of Qinhuai river in Nanjing [J]. *Environ Sci Manage*, 2007, **32**(3): 84 – 88.
- [16] 吉久昌, 郭跃东, 郭晋平, 等. 文峪河上游河岸林群落类型及其生态适应性[J]. 生态学报, 2009, **29**(3): 1587 – 1595.
- JI Jiuchang, GUO Yuedong, GUO Jinping, *et al.* Community types and ecological adaptation characteristics of the riparian forest in upper reach of Wenyuhe watershed [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29**(3): 1587 – 1595.
- [17] 任辉, 田恬, 杨宇峰, 等. 珠江口南沙河涌浮游植物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2017, **37**(22): 7729 – 7740.
- REN Hui, TIAN Tian, YANG Yufeng, *et al.* Spatial and temporal distribution of phytoplankton community and its relationship with environment factors in Nansha's rivers, Pearl River estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, **37**(22): 7729 – 7740.
- [18] ČEPELOVÁ B, MÜNZBERGOVÁ Z. Factors determining the plant species diversity and species composition in a suburban landscape [J]. *Landscape Urban Plann*, 2012, **106**(4): 336 – 346.
- [19] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991, **13**(增刊 4): 1 – 139.
- WU Zhengyi. Distribution of genus seed plants in China [J]. *Acta Bot Yunnan*, 1991, **13**(suppl IV): 1 – 139.
- [20] 裴男才. 利用大样地平台研究种子植物区系[J]. 植物分类与资源学报, 2011, **33**(6): 615 – 621.
- PEI Nancai. Large scale permanent plot can do well for the floristic study of seed plants [J]. *Plant Divers Resour*, 2011, **33**(6): 615 – 621.
- [21] ZATOUT M M M. Effect of negative human activities on plant diversity in the Jabal Akhdar pastures [J]. *Int J Bioass*, 2014, **3**(9): 3324 – 3328.
- [22] VAKHLOMOVA T, RUSTERHOLZ H P, KANIBOLOTSKAYA Y, *et al.* Changes in plant diversity along an urban-rural gradient in an expanding city in Kazakhstan, Western Siberia [J]. *Landscape Urban Plann*, 2014, **132**: 111 – 120.
- [23] YANG Jun, YAN Pengbo, HE Rongxiao, *et al.* Exploring land-use legacy effects on taxonomic and functional diversity of woody plants in a rapidly urbanizing landscape [J]. *Landscape Urban Plann*, 2017, **162**: 92 – 103.
- [24] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, **12**(6): 951 – 954.
- DENG Hongbing, WANG Qingchun, WANG Qingli, *et al.* On riparian forest buffers and riparian management [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12**(6): 951 – 954.

- [25] 裴男才, 陈步峰, 吴敏, 等. 广州市南沙区海岸防护林群落构建技术研究[J]. 生态环境学报, 2013, **22**(11): 1802 – 1806.  
PEI Nancai, CHEN Bufeng, WU Min, *et al.* Construction of coastal protective forest communities in Nansha District, Guangzhou City [J]. *Ecol Environ Sci*, 2013, **22**(11): 1802 – 1806.
- [26] 王应刚, 梁伟, 张婷, 等. 晋中盆地不同土地利用类型的植物多样性[J]. 生态学杂志, 2015, **34**(11): 2995 – 3001.  
WANG Yinggang, LIANG Wei, ZHANG Ting, *et al.* Effects of land-use types on plant species diversity in Jinzhong Basin [J]. *Chin J Ecol*, 2015, **34**(11): 2995 – 3001.
- [27] WANG Yinggang, MENG Dongping, ZHU Yuen, *et al.* Impacts of regional urbanization development on plant diversity within boundary of built-up areas of different settlement categories in Jinzhong Basin, China [J]. *Landscape Urban Plann*, 2009, **91**(4): 212 – 218.
- [28] 鲁庆彬, 游卫云, 赵昌杰, 等. 旅游干扰对青山湖风景区植物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(2): 295 – 302.  
LU Qingbin, YOU Weiyun, ZHAO Changjie, *et al.* Effects of tourism disturbance on plant diversity in Qingshan Lake scenic area of Zhejiang Province [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(2): 295 – 302.
- [29] 雷金睿, 宋希强, 何荣晓. 滨海城市公园植物物种多样性比较: 以海口市为例[J]. 生态学杂志, 2016, **35**(1): 118 – 124.  
LEI Jinrui, SONG Xiqiang, HE Rongxiao. Comparative analysis of plant species diversity in coastal city parks: a case study of Haikou [J]. *Chin J Ecol*, 2016, **35**(1): 118 – 124.
- [30] 徐一鸣, 张超, 库伟鹏, 等. 诸暨市不同绿地系统群落学特征与土壤养分的比较[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(4): 537 – 544.  
XU Yiming, ZHANG Chao, KU Weipeng, *et al.* Community characteristics and soil nutrients in different green space types of Zhuji City, Zhejiang [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2015, **32**(4): 537 – 544.
- [31] 冯舒, 汤茜, 卢训令, 等. 农业景观中非农景观要素结构特征对植物物种多样性的影响: 以封丘县为例[J]. 生态学报, 2017, **37**(5): 1549 – 1560.  
FENG Shu, TANG Qian, LU Xunling, *et al.* Non-agricultural landscape structure and the effect on plant species diversity in agricultural landscapes: a case study in Fengqiu County [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, **37**(5): 1549 – 1560.
- [32] 彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等. 城市化对本土植物多样性的影响: 以廊坊市为例[J]. 生态学报, 2012, **32**(3): 723 – 729.  
PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, *et al.* Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(3): 723 – 729.
- [33] GILBERT B, LECHOWICZ M J. Invasibility and abiotic gradients: the positive correlation between native and exotic plant diversity [J]. *Ecology*, 2005, **86**(7): 1848 – 1855.
- [34] ZENG Shenglan, ZHANG Tingting, GAO Yu, *et al.* Effects of road age and distance on plant biodiversity: a case study in the Yellow River Delta of China [J]. *Plant Ecol*, 2011, **212**(7): 1213 – 1229.
- [35] KRAUSS J, KLEIN A M, STEFFAN-DEWENTER I, *et al.* Effects of habitat area, isolation, and landscape diversity on plant species richness of calcareous grasslands [J]. *Biodivers Conserv*, 2004, **13**(8): 1427 – 1439.
- [36] WALKER J S, GRIMM N B, BRIGGS J M, *et al.* Effects of urbanization on plant species diversity in central Arizona [J]. *Front Ecol Environ*, 2009, **7**(9): 465 – 470.