

# 鄱阳湖平原区农村门塘浮游藻类群落特征及其生物学评价

苏甜<sup>1,2</sup>, 刘方平<sup>1,2\*</sup>, 廖伟<sup>1,2</sup>, 姜成名<sup>1,2</sup>

(1. 江西省灌溉试验中心站, 江西 南昌 330201;

2. 江西省高效节水与农业面源污染重点实验室, 江西 南昌 330201)

**摘要:**于2018年—2019年在鄱阳湖区周边选取4个县(区)10个村庄的典型门塘开展浮游藻类采样调查。研究共鉴定出藻类6门83种,以蓝藻门、绿藻门和硅藻门为主;浮游藻类细胞密度全年范围为 $7.30 \times 10^4$ 个/L~ $2.78 \times 10^{11}$ 个/L,年均值为 $1.4 \times 10^{10}$ 个/L,其中夏季细胞密度最大,冬季细胞密度最小;优势种主要有小环藻、微囊藻、铜绿微囊藻、卵形隐藻等,且具有较为明显的季节演替,全年优势种为小环藻;藻类多样性指数( $H'$ )年均值为1.49,丰富度指数( $M$ )年均值为1.92,全年水体生物学评价结果为中度污染。

**关键词:**浮游藻类;群落结构;多样性指数;农村门塘;鄱阳湖平原

中图分类号:X826

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2020)05-0043-05

## Community Characteristic and Biological Assessment of Phytoplankton in Rural Pond in PoYang Lake Plain Area

SU Tian<sup>1,2</sup>, LIU Fang-ping<sup>1,2\*</sup>, LIAO Wei<sup>1,2</sup>, JIANG Cheng-ming<sup>1,2</sup>

(1. Jiangxi Centre Station of Irrigation Experiment, Nanchang, Jiangxi 330201, China;

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Agriculture High-efficiency Water-saving and Non-point Source Pollution Preventing and Controlling, Nanchang, Jiangxi 330201, China)

**Abstract:** A survey was conducted on phytoplankton in 10 typical rural ponds in 4 districts around PoYang Lake area from 2018 to 2019. The identified phytoplankton belong to 6 phyla 83 genera. Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta were dominated. The cell density of phytoplankton ranged from  $7.30 \times 10^4$  ind/L to  $2.78 \times 10^{11}$  ind/L yearly, the annual average was  $1.4 \times 10^{10}$  ind/L, the maximum cell density appeared in summer and the minimum in winter. *Cyclotella*, *Microcystis*, *Microcystis aeruginosa*, *Cryptomonas cvata* were dominant species which had pronounced seasonal succession, and *Cyclotella* was annual dominant species. The average Shannon-Weiner diversity index was 1.49. The Margalef abundance index was 1.92. The water was moderately polluted by biological evaluation.

**Key words:** Phytoplankton; Community structure; Diversity index; Rural pond; PoYang Lake plain

浮游藻类在不同的水环境中存在着特定的种类组成,其群落结构和多样性指数是评价水环境的重要指标<sup>[1-2]</sup>。不同的藻类群落结构决定着其在水生生态系统中的功能,并能反映水体营养水平。目前,关于浮游藻类的调查多针对湖泊或江河流域<sup>[3-4]</sup>。农村门塘是农村地区水环境好坏的重要标志,其水质直接或间接影响着村民的生产生活。然而,关于农村环境的监测主要集中在村庄环境空气质量、饮用水源地水质、土壤环境质量等方

面<sup>[5]</sup>,针对农村门塘水环境的监测与评价并不多见。今于2018年—2019年对鄱阳湖平原区农村门塘开展采样调查,了解其浮游藻类的组成及时空变化特征,从水体富营养化和生物多样性两个方面

收稿日期:2019-08-05;修订日期:2020-06-15

基金项目:江西省重点研发计划基金资助项目(20171BBH80018);江西省水利科技基金资助项目(KT201737)

作者简介:苏甜(1989—),女,河南焦作人,工程师,硕士,主要从事农村水环境研究。

\*通信作者:刘方平 E-mail: lfp1224@sina.com

对水体进行生物学评价,为鄱阳湖平原区农村门塘水环境研究提供基础资料和科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域

研究区域为鄱阳湖平原区,位于江西省北部与安徽省西南边境,是长江中下游平原的一部分。该地区为亚热带湿润气候,是长江和鄱阳湖支流水系赣江、抚河、信江、修河、饶河等水冲积而成的湖滨平原,区内地势平缓,海拔多在50 m以下,河网密集。

### 1.2 采样点与采样时间

在鄱阳湖临湖地区选取4个县(区),每个县(区)选取两三个村庄门塘,共计10个采样点,分别为:进贤县南台乡观前村S1和池溪乡下坊村S2,南昌县武阳镇下钱村S3、幽兰镇潭林村万家S4和灌溪村S5,星子县泽泉乡长塘村S6和新屋熊村S7,新建区大塘坪乡万周村S8、联圩乡大洲村S9和夏家村S10。采样时间为2018年7月(夏季)和11月(秋季)、2019年2月(冬季)和4月(春季)。

### 1.3 样品采集与鉴定

样品分为定性样品和定量样品。定性样品用25号浮游生物网随机采集3次,将收集的浮游藻类放流到样品瓶中,用甲醛固定,带回实验室镜检、鉴定,统计样方内种类。定量样品用1 L有机玻璃定容采样器采集后,加入15 mL鲁格试剂固定,带回实验室沉降和浓缩,浓缩液定容后镜检和计数。

浓缩水样在10×40倍光学显微镜下观察、鉴定和拍照。为看清硅藻细胞壁上的花纹,在鉴定种类之前经过酸处理<sup>[6]</sup>。取0.1 mL处理后的定量样品于浮游植物计数框(Palmer Counting Cell)内镜检,记录种类并计数,重复取样10次,取平均值作为不同物种的种群密度。种类鉴定方法参照文献<sup>[7-8]</sup>。

### 1.4 监测指标与计算方法

浮游藻类监测指标包括藻细胞密度、种类组成、藻类优势种、Shannon-Weiner多样性指数(香农指数, $H'$ )、Margalef丰富度指数( $M$ )等。

(1) 细胞密度。参照文献<sup>[9]</sup>,计算公式为 $N = V_s \times n / (V \times V_a)$ 。式中, $N$ 为1 L水样中浮游藻类数量(种群密度为个/L); $V$ 为采样体积(L); $V_s$ 为1 L水样浓缩后的体积(mL); $n$ 为镜检计数所得浮游藻类数目; $V_a$ 为计数框容量(mL)。

(2) 优势度。全年调查藻类的优势种根据每个种类的优势度( $Y$ )确定,计算公式为 $Y = (N_i / N_s) \times F_i$ 。式中, $N_i$ 为第*i*种的个体数; $N_s$ 为所有种类总个体数; $F_i$ 为第*i*种出现的频率。 $Y > 0.02$ 的种类为全年调查的优势种<sup>[10]</sup>。

(3) 多样性指数。计算公式分别为 $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$ 和 $M = (S - 1) / \ln N$ 。式中, $P_i$ 为种*i*个体在总个体中的比例; $N$ 为某样点1 L水样中浮游藻类数量; $S$ 为藻类的总种数即丰度。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游藻类组成与季节分布

10个门塘共鉴定出浮游藻类6门83种,其中,绿藻门(Chlorophyta)31种,硅藻门(Bacillariophyta)22种,蓝藻门(Cyanophyta)12种,裸藻门(Euglenophyta)8种,甲藻门(Pyrophyta)6种,隐藻门(Cryptophyta)4种。绿藻门种类最多,占37.3%,其次为硅藻门(26.5%)、蓝藻门(14.5%)。从季节变化上看,春夏季种类数量明显多于秋冬季,甲藻门仅在夏季个别样点被发现,冬季未发现蓝藻门(见图1)。

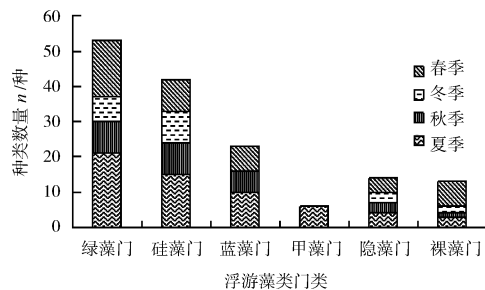


图1 浮游藻类门类的季节分布

Fig. 1 Seasonality distribution of phytoplankton

### 2.2 浮游藻类细胞密度

不同季节各门塘藻类细胞密度波动较大,变化范围分别为:春季 $2.20 \times 10^7$ 个/L~ $4.58 \times 10^8$ 个/L,夏季 $8.78 \times 10^8$ 个/L~ $2.78 \times 10^{11}$ 个/L,秋季 $2.60 \times 10^7$ 个/L~ $5.30 \times 10^9$ 个/L,冬季 $7.30 \times 10^4$ 个/L~ $1.05 \times 10^8$ 个/L,平均值分别为 $1.28 \times 10^8$ 个/L、 $5.50 \times 10^{10}$ 个/L、 $1.03 \times 10^9$ 个/L、 $1.85 \times 10^7$ 个/L。藻类细胞密度夏季最大,冬季最小。从门类上看,春季蓝藻门藻类细胞密度最大,占总密度的43.8%,其次为绿藻门和裸藻门;夏季蓝藻门藻类细胞密度最大,达 $3.01 \times 10^{11}$ 个/L,占总密度

的 97%, 其次为绿藻门和硅藻门; 秋季蓝藻门藻类细胞密度最大, 达  $5.60 \times 10^9$  个/L, 占总密度的 54.4%, 其次为绿藻门和隐藻门; 冬季硅藻门细胞密度最大, 达  $1.05 \times 10^8$  个/L, 占总密度的 79.6%。藻类细胞密度有着明显的季节差异, 冬季最小, 夏季最大, 春季小于秋季。硅藻在冬季占优势, 蓝藻在其他季节占优势。

### 2.3 浮游藻类优势种

优势度指数计算结果表明, 门塘春季优势种较多, 主要有硅藻门的小环藻 (*Cyclotella*) (0.09), 绿藻门的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) (0.07)、四尾栅藻 (*Scenedesmus quadricauda*) (0.05)、项锥十字藻 (*Crucigenia*) (0.04) 和颗粒直链藻 (*Melosira granulata*) (0.02), 裸藻门的扁裸藻 (*Phacus*) (0.06), 蓝藻门的微囊藻 (*Microcystis* sp.) (0.02) 和伪鱼腥藻 (*Pseudanabaena mucicola*) (0.03); 夏季优势种主要有蓝藻门的微囊藻 (*Microcystis* sp.) (0.31) 和铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) (0.21), 绿藻门的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) (0.04), 硅藻门的小环藻 (*Cyclotella*) (0.04); 秋季优势种主要有硅藻门的小环藻 (*Cyclotella*) (0.07), 隐藻门的尖尾蓝隐藻 (*Cryptophyllum cuspidatum*) (0.08), 绿藻门的双尾栅藻 (*Scenedesmus bicaudatus*) (0.02); 冬季优势种主要有硅藻门的小环藻 (*Cyclotella*) (0.37) 和舟形藻 (*Navicula*) (0.03), 隐藻门的吻状隐藻 (*Cryptomonas rostrata*)

(0.06) 和卵形隐藻 (*Cryptomonas ovata*) (0.16), 绿藻门的双尾栅藻 (*Scenedesmus bicaudatus*) (0.02)。

小环藻为全年优势种, 铜绿微囊藻为夏季特有优势种, 尖尾蓝隐藻为秋季特有优势种。冬季绝对优势种为硅藻, 特有的优势种有舟形藻、吻状隐藻和卵形隐藻。春季各种藻类开始生长, 优势藻类众多, 独有的优势种有扁裸藻、颗粒直链藻、伪鱼腥藻和四尾栅藻。

### 2.4 浮游藻类群落多样性

浮游藻类群落多样性指数季节变化及水体污染状况评价结果见表 1。由表 1 可见, 10 个采样点全年的香农指数 ( $H'$ ) 范围为 0.40 ~ 2.30, 均值为 1.49, 最高值出现在夏季 S2 和 S6 点位, 最低值出现在秋季 S6 点位。全年的丰富度指数 ( $M$ ) 范围为 1.08 ~ 2.82, 均值为 1.92, 最高值出现在夏季 S10 点位, 最低值出现在冬季 S5 点位。春季门塘的香农指数普遍较高, 70% 的水体评价结果为轻度污染; 冬季门塘的香农指数普遍较低, 50% 的水体评价结果为重度污染。

依据评价标准对门塘水体污染状况进行综合评价, 香农指数与丰富度指数的评价结果一致。鄱阳湖平原区农村门塘水体全年整体为中度污染, 个别样点如夏季的观前村、灌溪村、大洲村和夏家村, 秋季的长塘村和夏家村, 冬季的观前村、下坊村、下钱村、灌溪村和长塘村, 其香农指数评价结果为重度污染。

表 1 浮游藻类群落多样性指数季节变化及水体污染状况评价结果

Table 1 The seasonal variation of diversity index and water pollution evaluation results

季节	多样性指数	采样点										均值	污染评价 <sup>①</sup>
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10		
春季	$H'$	2.12	2.00	2.05	2.16	2.03	1.60	2.26	2.17	1.85	1.52	1.98	中度
	$M$	2.35	2.54	2.50	2.39	2.35	2.38	2.42	2.22	2.16	2.30	2.36	中度
夏季	$H'$	0.70	2.30	2.00	1.10	0.90	2.30	1.40	2.00	0.70	0.50	1.39	中度
	$M$	2.64	2.63	2.81	2.70	2.75	2.69	2.33	2.23	2.20	2.82	2.58	中度
秋季	$H'$	2.10	1.20	2.10	2.00	1.10	0.40	1.30	1.90	1.50	0.60	1.42	中度
	$M$	1.29	1.54	1.26	1.37	1.21	1.46	1.39	1.34	1.40	1.58	1.38	中度
冬季	$H'$	0.96	0.64	0.99	2.05	0.74	0.64	1.04	1.16	1.92	1.53	1.17	中度
	$M$	1.37	1.45	1.13	1.25	1.08	1.46	1.45	1.33	1.21	1.79	1.35	中度

①  $H'$  评价标准:  $\geq 3$  为清洁, 2 ~ 3 为轻度污染, 1 ~ 2 为中度污染,  $< 1$  为重度污染;  $M$  评价标准: 0 ~ 1 为重度污染, 1 ~ 3 为中度污染,  $> 3$  为清洁<sup>[11]</sup>。

## 3 讨论

### 3.1 鄱阳湖平原区农村门塘浮游藻类组成与细胞密度

鄱阳湖平原区农村门塘浮游藻类以蓝藻门、绿藻门、硅藻门和隐藻门为主, 与鄱阳湖浮游植物群落组成一致<sup>[3]</sup>。夏季蓝藻门和绿藻门为优势门

种,春秋季以蓝藻门为主,冬季以硅藻门为主,浮游藻类的群落组成随着季节和温度的变化而有所改变。陈格君等<sup>[12]</sup>调查发现,在鄱阳湖浮游藻类群落的季节性演替过程中,硅藻在冬季占优势,蓝藻在春秋季占优势。王艺兵等<sup>[13]</sup>2015年对鄱阳湖平原区浮游藻类的调查结果表明,5月、9月和11月密度最高的藻种均为蓝藻门,其次为绿藻门,与本研究结果一致。蓝藻的大量繁殖意味着水体富营养化程度不断升高<sup>[14]</sup>。

藻细胞密度是判断水体是否富营养化的主要指标之一。根据《水生生物监测手册》中的相关规定和湖泊营养型评价标准,对于浮游藻类细胞密度一般采用的评价标准为:<30万个/L为贫营养型;30万个/L~100万个/L为中营养型;>100万个/L为富营养型<sup>[15]</sup>。此次调查结果显示,门塘水体全年均为富营养型,冬季个别门塘为中营养型和贫营养型。然而,由于门塘附近人类活动频繁,污染源较多,因而不能完全按照湖泊富营养型进行评价,湖泊评价标准只能作为参考。

### 3.2 鄱阳湖平原区农村门塘浮游藻类优势种的季节特征

夏季蓝藻门的微囊藻和铜绿微囊藻作为主要优势种出现,表明夏季门塘水体富营养化程度高,污染严重。蓝藻能够释放蓝藻毒素,抑制其他藻类生长。微囊藻毒素毒性较大,易对周围水环境造成危害,而且极易形成水华<sup>[16]</sup>,作为某些区域的优势种出现意味着有较严重的水环境问题。铜绿微囊藻也是富营养水体的指示性藻种<sup>[17]</sup>。

研究还发现,隐藻门作为优势藻种出现在秋冬季。秋冬季光照合适,隐藻群落在中低水位水体中繁殖迅速,成为主要群落<sup>[18-19]</sup>。而硅藻在冬季作为绝对优势种出现,与该藻种的耐低温性有关。

春季颗粒直链藻作为优势种出现,在一定程度上指示了该区域水体的富营养化和污染程度。颗粒直链藻对水环境变化非常敏感,除了易受水温条件的限制外,其在富营养化和污染水体中极易形成优势种群,是此类水体的典型指示藻种<sup>[20]</sup>。四尾栅藻是中营养型水体的指示藻类,属于中污性藻类,该藻种的出现一定程度上表明了春季水体的营养程度和污染程度<sup>[17]</sup>。

### 3.3 鄱阳湖平原区农村门塘水环境的生物学评价

香农指数和丰富度指数均表明门塘水体全年评价结果为中度污染,个别门塘出现重度污染。硅

藻门的小环藻属于全年优势藻种,其在水质评价中属于 $\alpha-\beta$ 中度污染指示生物,从侧面反映了门塘整体的污染程度<sup>[21]</sup>。若按照湖泊营养型评价标准,则除了冬季个别门塘为中营养型和贫营养型外,其他季节的水体均为富营养型。程新等<sup>[22]</sup>2017年对鄱阳湖周边2个县采样调查发现,该区域浮游藻类多样性指数对水体的评价结果均为中度—重度污染,尤其是在温度较高的夏季和秋季,污染程度更高。

本研究对于门塘的水质评价仅限于通过浮游藻类特征进行生物学评价,水体中影响藻类生长的因子众多,不同藻种对环境的适应能力和变种能力也不尽相同。因此,评价门塘水质状况时还应结合其他指标综合考量。

## 4 结论

(1) 鄱阳湖平原区农村门塘的浮游藻类共鉴定出6门83种,主要由蓝藻门、绿藻门、硅藻门、裸藻门、隐藻门和甲藻门组成,其中,绿藻门种类最多,其次为硅藻门和蓝藻门。浮游藻类细胞密度全年均值为 $1.4 \times 10^{10}$ 个/L,春季、夏季和秋季蓝藻门密度最大,冬季硅藻门密度最大。

(2) 全年的优势藻种为小环藻,主要优势种为微囊藻、铜绿微囊藻、卵形隐藻等,且具有较明显的季节演替。

(3) 浮游藻类的细胞密度、多样性指数及指示性藻类均表明,鄱阳湖平原区农村门塘水体富营养化程度高,全年水环境的生物学评价结果为中度污染。

鄱阳湖平原区农村门塘浮游藻类组成与鄱阳湖浮游藻类组成相似,群落结构也较为相近,且两者水体富营养化程度高,水体污染形势较严峻。通过对农村门塘水体的研究与治理,可以为鄱阳湖水体研究提供基础的科学依据和参考。

### [参考文献]

- [1] COTTINGHAM K L, CARPENTER S R. Population, community, and ecosystem variates as ecological indicators: phytoplankton responses to whole-lake enrichment [J]. *Ecological Applications*, 1998, 8(2): 508-530.
- [2] SUIKKANEN S, LAAMANEN M, HUTTUNEN M. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 71(3/4): 580-592.

- [3] 黄学辉,陈传红,袁轶君,等. 鄱阳湖浮游植物群落季节性变化分析[J]. 江西化工,2018(2):180-184.
- [4] 葛伟,张婷,牛志春,等. 蟒蛇河水域浮游植物调查与水生态评价[J]. 环境监测管理与技术,2015,27(4):35-39.
- [5] 陆泗进,何立环. 浅谈我国农村环境监测[J]. 环境监测管理与技术,2013,25(5):1-3.
- [6] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类:系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社,2006:23-915.
- [7] 齐雨藻. 中国淡水藻志:第四卷,硅藻门-中心纲[M]. 北京:科学出版社,1995:1-89.
- [8] 齐雨藻,李家英,谢淑琦,等. 中国淡水藻志:第十卷,硅藻门-羽纹纲[M]. 北京:科学出版社,2004:1-130.
- [9] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京:科学出版社,1995:333-344.
- [10] 李文浩,张萌,门吉师,等. 江西仙女湖流域大型底栖动物群落结构及水质评价[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(8):1218-1227.
- [11] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果[J]. 水生生物学,1996(3):212-220.
- [12] 陈格君,周文斌,李美婷,等. 鄱阳湖氮磷营养盐对浮游植物群落影响研究[J]. 中国农村水利水电,2013(3):48-52.
- [13] 王艺兵,侯泽英,叶碧碧,等. 鄱阳湖浮游植物时空变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学学报,2015,35(5):1310-1317.
- [14] KANGRO K, LAUGASTE R, NÖGES P, et al. Long-term changes and seasonal development of phytoplankton in a strongly stratified, hypertrophic lake [J]. *Hydrobiologia*, 2005, 547(1): 91-103.
- [15] 刘宇,沈建忠. 藻类生物学评价在水质监测中的应用[J]. 水利渔业,2008,28(4):5-7.
- [16] 傅园园,黄河仙,张琦,等. 东洞庭湖浮游藻类群落的结构特征及物种多样性分析[J]. 生命科学研究,2016,20(1):8-15.
- [17] 况琪军,马沛明,胡征宇,等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报,2005,5(2):87-91.
- [18] 刘春光,金相灿,邱金泉,等. 光照与磷的交互作用对两种淡水藻类生长的影响[J]. 中国环境科学,2005,25(1):32-36.
- [19] 孙向卫. 铁、磷和光照强度对三种浮游植物生长的影响[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [20] 王超,赖子尼,李跃飞,等. 西江颗粒直链藻种群生态特征[J]. 生态学报,2012,32(15):4793-4802.
- [21] 姜雪芹,禹娜,毛开云,等. 冬季上海市城区河道中浮游植物群落结构及水质的生物评价[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),2009(2):78-87.
- [22] 程新,黄林. 鄱阳湖浮游藻类多样性调查与评价[J]. 安徽农业科学,2017,45(30):1-2.

本栏目编辑 谢咏梅 姚朝英

(上接第8页)

德国铁路噪声在线自动监测项目自开通以来取得了良好的运营效果。德国“创新货车”项目是在不同类型的货车上配备创新的技术和部件,以达到声环境保护目的的一项研究,该项目在声环境保护和能效提升方面的成功正是通过噪声在线自动监测系统的测量结果得以验证。我国可以借鉴德国铁路成熟的噪声在线监测系统设计理念 and 运营经验,综合考虑我国铁路的特点,开发设计出适合我国国情的铁路噪声自动监测系统,为分析铁路噪声变化规律、研究解决对策、制定相关技术规范提供数据支撑。

#### [参考文献]

- [1] 何财松,李晏良. 高速铁路环境噪声自动监测系统设计[J]. 铁路节能环保与安全卫生,2018,8(6):282-286.
- [2] Official Journal of the European Communities. Directive 2002/49/EC of the European parliament and of the council [EB/OL]. [2002-07-18]. [https://www.ecolex.org/details/legislation/directive-200249ec-of-the-european-parliament-and-of-the-council-relating-to-the-assessment-and-management-of-environmental-noise-lex-faoc038002/?q=2002%2F49%2FEC&xdate\\_min=2002&xdate\\_max=2002](https://www.ecolex.org/details/legislation/directive-200249ec-of-the-european-parliament-and-of-the-council-relating-to-the-assessment-and-management-of-environmental-noise-lex-faoc038002/?q=2002%2F49%2FEC&xdate_min=2002&xdate_max=2002).
- [3] Bundesministerium der Justiz. Gesetz zum verbot des betriebs lauter güterwagen (Schienenlärm-schutzgesetz-SchlärmschG) [EB/OL]. [2017-07-20]. [https://www.gesetze-im-internet.de/schl\\_rmschg/Schl%C3%A4rmschG.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/schl_rmschg/Schl%C3%A4rmschG.pdf).
- [4] EU Commission. A study of European priorities and strategies for railway noise abatement. Annex I. Retrieval of legislation [R]. Bruxelles; Directorate-General for Energy and Transport, 2002.
- [5] Deutsches Institut für Normung. DIN EN ISO 3095:2013 Akustik-bahnanwendungen-messung der geräuschemission von spurgebundenen fahrzeugen [S]. Berlin; Deutsches Institut für Normung, 2014.
- [6] 张明棣,叶飞琴,徐乔,等. 深圳市环境噪声自动监测系统建设[J]. 环境监测管理与技术,2013,25(3):55-57.
- [7] 杨光. 关于城市环境噪声自动监测工作的思考[J]. 环境监测管理与技术,2009,21(4):9-11.
- [8] 李晏良,刘兰华,伍向阳,等. 铁路联调联试噪声振动自动测试技术研究[J]. 铁路节能环保与安全卫生,2014,4(6):255-258.
- [9] 陈建江. 对我国环境自动监测发展的思考[J]. 环境监测管理与技术,2007,19(1):1-3.

本栏目编辑 姚朝英