

## 新沂夏季浮游植物群落结构特征研究

黄俊<sup>1</sup>, 占明飞<sup>1\*</sup>, 黄杰<sup>2</sup>, 陈莹莹<sup>1</sup>, 王伟<sup>1</sup>

(1. 安徽水韵软体动物繁育科技有限公司, 安徽芜湖 2410001; 2. 芜湖市南陵县生态环境分局, 安徽芜湖 241300)

**摘要** 为了解新沂浮游植物群落结构的多样性特征, 于2019年夏季对新沂市主要河流、湖泊的浮游植物群落结构进行调查。结果表明: 共鉴定出浮游植物7门84属, 其中以绿藻门居多, 其次是硅藻门和蓝藻门。采样点浮游植物密度在 $303.3 \times 10^4 \sim 8\,676.8 \times 10^4$  个/L, 生物量在2.46~21.11 mg/L, Shannon-Wiener 多样性指数为1.26~3.32, Pielou 均匀度指数为0.53~0.86, Margalef 多样性指数为0.37~2.42。基于优势种的等级聚类和非度量多维标度分析结果表明, 样本群落可分为2组。不同空间的环境差异造成了浮游植物群落结构差异, 沭河和沂河的浮游植物组成相似度较低, 但沭河和水库的浮游植物组成相似度较高。

**关键词** 浮游植物; 群落结构; 新沂

中图分类号 Q145 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)17-0074-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.17.020



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Study on the Characteristics of Phytoplankton Community Structure in Summer of Xinyi**HUANG Jun<sup>1</sup>, ZHAN Ming-fei<sup>1</sup>, HUANG Jie<sup>2</sup> et al (1. Anhui Shuiyun Mollusca Breeding Technology Co., Ltd., Wuhu, Anhui 241001; 2. Ecological Environment Bureau of Nanling County, Wuhu, Anhui 241300)

**Abstract** In order to understand the diversity characteristics of the phytoplankton community structure in Xinyi, the main rivers and lakes in Xinyi City were investigated in the summer of 2019. The results showed that there were 84 genera of phytoplankton in 7 phyla. The Chlorophyta was the most abundance taxa and followed by Diatom and Cyanophyta. The phytoplankton density of the whole sampling points was  $303.3 \times 10^4 \sim 8\,676.8 \times 10^4$  cells/L, and the biomass was 2.46~21.11 mg/L, Shannon-Wiener diversity index was 1.26~3.32, Pielou evenness index was 0.53~0.86, the Margalef index was 0.37~2.42. The results of hierarchical clustering and non-metric multi-dimensional scaling analysis showed that sampling points can be divided into two groups. The structure of phytoplankton communities were influenced by spaces. The similarity of phytoplankton composition between Shuhe and Yihe was low, but the similarity of phytoplankton composition between Shuhe and the reservoir was relatively high.

**Key words** Phytoplankton; Community structure; Xinyi

近年来,随着生物多样性保护工作的开展,区域性水生生态本底调查资料日趋增多。浮游植物作为区域水生生态调查的重要组成部分,在指示水质、判断水体健康程度等方面具有积极应用<sup>[1-3]</sup>。早在2000年,欧盟水框架指令(WFD)就将浮游植物纳入河流湖泊监测范围<sup>[4]</sup>,与传统理化监测方式相比,通过监测浮游植物的群落特征可以全面及时地掌握水环境质量的动态变化过程,但难以确定污染物的种类、浓度,灵敏性和专一性也不如理化检测<sup>[5-6]</sup>。

新沂位于江苏北部、徐州市东部(117°59'~118°39'E, 34°06'~34°26'N),东靠沭阳、东海,南隔沂河、骆马湖与宿迁相望,西邻邳州,北邻山东郯城县,土地总面积1 616 km<sup>2</sup>。境内河流纵横,水面广阔,流域性湖泊有沭河、沂河、新沂河、中运河、骆马湖,区域性河道有17条,河道总长374 km,中小型水库30座,总库容9 897万 m<sup>3</sup>。其中,骆马湖不仅是沂河、中运河洪水的主要调蓄湖泊,还是国家南水北调东线输水工程的主要调节水库之一<sup>[7]</sup>。目前,关于骆马湖水质和富营养化的研究较为广泛<sup>[8-10]</sup>,但对骆马湖周边汇入水体的浮游植物调查却鲜有报道。该研究通过对新沂市多个河流断面进行调查,以期获得浮游植物数据,为新沂市水生生物保护、生态修复及水质评价提供科学依据和理论基础。

**1 材料与方****1.1 采样点设置和采样时间** 于2019年7月选择江苏省新

沂市主要河湖和水库为调查对象,进行浮游植物的样品采集。采样点布设参照《生物多样性调查技术规范—内陆浮游生物》<sup>[11]</sup>,同时考虑到河湖、水库(高塘、阿湖、黄巢关)的分布及样点均匀性,分别设置15个采样点,开展浮游植物的调查监测。各采样点分布见图1。

**1.2 样本采集和处理** 浮游植物定性样品的采集采用25号浮游生物网(网孔直径为64 μm),在水面表层呈“∞”字形缓慢捞取浮游植物样品,并将网内浓缩液置于100 mL塑料水样瓶中,经4%甲醛固定,带回实验室镜检。

浮游植物定量样品的采集采用有机玻璃采水器在水深0.5 m处采集水样1 L,现场用15 mL鲁哥氏液固定。样品带回实验室后移入沉淀器,静置24 h后定容至30 mL,在10×40倍显微镜下定量镜检(Phenix XSP-36)<sup>[12]</sup>。浮游植物鉴定参考《中国淡水藻类——系统、分类及生态》<sup>[13]</sup>。

**1.3 数据处理和分析** 多样性指数常用的指标有优势度指数(Y)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')和 Margalef 多样性指数(D'),其中优势度指数 Y>0.02 为优势种属<sup>[14]</sup>。在使用多样性指数进行生物学评价时,水体富营养化及评价标准参照参考文献[15]。

各指数计算公式如下:

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

$$H' = \sum_{i=1}^s (n_i/N) \times \log_2(n_i/N)$$

$$D' = (S-1) \ln N$$

$$J' = H' / \log_2 S$$

式中,N为所有物种的个体总数; $n_i$ 为第*i*种的个体总数; $f_i$ 

**作者简介** 黄俊(1993—),男,安徽芜湖人,助理工程师,硕士,从事鱼类生态学研究。\*通信作者,工程师,硕士,从事环境工程及生态学研究。

**收稿日期** 2021-01-25; **修回日期** 2021-06-02

为第  $i$  种藻类在各站位出现的频率;  $S$  为浮游生物的物种数。

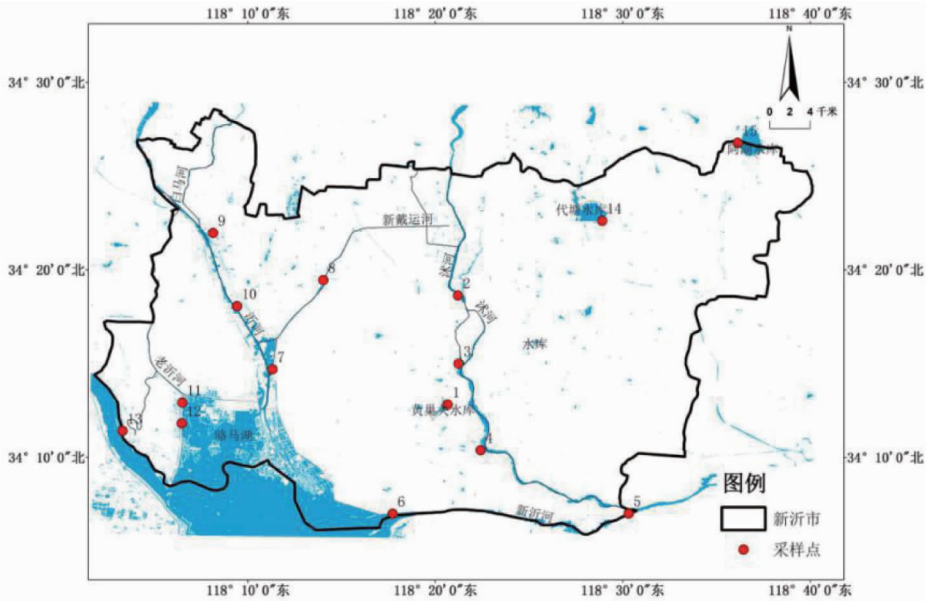


图 1 新沂市采样点示意

Fig. 1 Sampling points distribution of Xinyi

采用等级聚类法(Cluster)研究不同区域浮游植物优势种的分布,先将物种密度原始数据进行  $\log(x+1)$  转换,在聚类过程中选用 Bray-Curtis(Ward 法)来度量类群与类群之间的相似程度,采用非度量多维标度(non-metric multidimensional scaling)方法分析不同流域浮游植物组成的相似关系,将转换后的物种数据计算 Bray-Curtis 相似性指数,建立各浮游植物群落的相似性矩阵,肋强系数(Stress)用以度量二维 NMDS 的拟合优度,  $Stress < 0.05$  为拟合程度极高,  $Stress < 0.10$  为拟合程度较高,  $Stress < 0.20$  为拟合程度一般,  $Stress > 0.30$  为拟合程度较差<sup>[16-17]</sup>。

原始数据的记录和保存在 Excel 2010 中完成,多样性指数的计算和作图在 R-4.0.2 中完成,新沂市水系图来自 Landsat8 OLE,运用 Arcgis 解译完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游植物的群落结构

**2.1.1 种类组成。**该调查的定量样品中,共鉴定到包括硅藻门、隐藻门、绿藻门、蓝藻门、甲藻门、裸藻门和黄藻门共计 84 属。其中,硅藻门 19 属,绿藻门 35 属,蓝藻门 17 属,裸藻门 6 属,甲藻门 3 属,黄藻门 3 属,隐藻门 1 属。各采样点浮游植物组成见表 1。该调查鉴定到的绿藻门种属数最多,优势属(括号内数字为优势度)为栅藻属(*Scenedesmus*, 0.06)和小球藻属(*Chlorella*, 0.32),硅藻门种属数次之,优势属有小环藻属(*Cyclotella*, 0.04);蓝藻门优势属为微囊藻属(*Microcystis*, 0.05)、色球藻属(*Chroococcus*, 0.04)、平裂藻属(*Merismopedia*, 0.03)和颤藻属(*Oscillatoria*, 0.09)。

表 1 采样点浮游植物种类组成

Table 1 Composition of phytoplankton in the sampling points

采样点 Sampling points	硅藻门 Bacillariophyta	黄藻门 Xanthophyta	甲藻门 Dinoflagellates	蓝藻门 Cyanophyta	裸藻门 Gymnophyta	绿藻门 Chlorophyta	隐藻门 Cryptophylum	累计 Total
1	2	1	1	11	6	15	1	37
2	5	1	2	13	1	24	1	47
3	1	NA	NA	8	NA	2	NA	11
4	4	2	2	14	5	14	1	42
5	8	1	2	6	1	20	NA	38
6	2	1	2	8	2	18	NA	33
7	3	1	3	6	3	13	NA	29
8	5	1	5	12	2	17	1	43
9	18	NA	1	4	1	8	NA	32
10	2	NA	2	7	1	21	1	34
11	2	1	1	8	3	23	1	39
12	9	3	1	10	6	28	NA	57
13	4	2	1	8	1	12	NA	28
14	9	NA	1	11	4	23	NA	48
15	9	1	3	13	2	20	NA	48

注:NA 表示未发现

Note:NA means no discovery

**2.1.2 密度和生物量。**分析结果显示,浮游植物主要以蓝藻门和绿藻门为主,调查区域内浮游植物密度为  $303.3 \times 10^4 \sim 8\ 676.8 \times 10^4$  个/L,其中3号采样点浮游植物密度最大,9号采样点浮游植物密度最低。其中沭河流域浮游植物的平

均密度高于水库和沂河流域。浮游植物生物量的变化范围为 2.46~21.11 mg/L,其中3号采样点最大,13号采样点最低(图2)。从各点位的浮游植物组成可知,沭河浮游植物主要以蓝藻为主,其余采样点绿藻占多数。

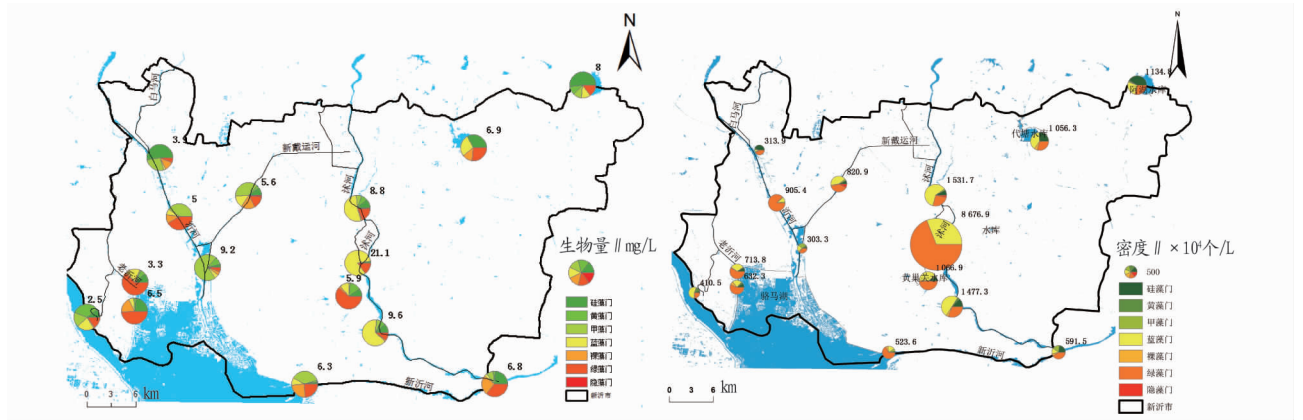


图2 新沂市浮游植物生物量和密度分布

Fig. 2 Spatial distribution patterns of biomass and abundance of phytoplankton in Xinyi

**2.2 浮游植物的多样性评价**

**2.2.1 多样性。**对各点位浮游植物进行了物种多样性分析(图3),从图3可见,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.26~

3.32,Pielou 均匀度指数为 0.53~0.86,Margalef 多样性指数为 0.37~2.42,各采样点多样性指数变化各异。

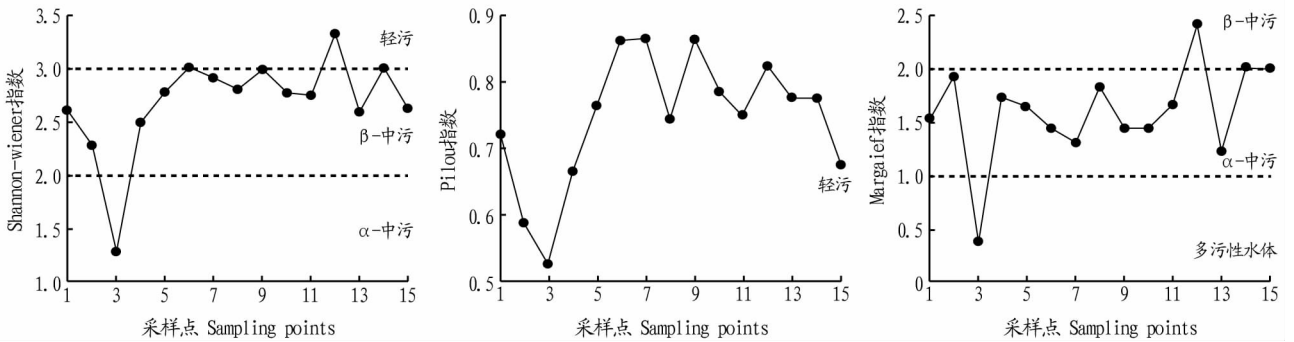


图3 新沂市夏季河流、水库的浮游植物多样性指数

Fig. 3 Phytoplankton diversity index of rivers and reservoir in Xinyi

通过水环境污染等级标识可知,新沂市各采样点 Shannon-Wiener 多样性指数多处于 β-中污状态,其中峰值出现在采样点 12,谷值出现在采样点 3,其他采样点差异性不大。Pielou 均匀度指数的峰值出现在采样点 7,谷值出现在采样点 3,因此采样点均处于轻污状态。Margalef 多样性指数最大值出现在采样点 12,最低值出现在采样点 3,多数采样点处于 α-中污染状态。

**2.2.2 优势种的聚类和排序。**在 Bray-Curtis 距离矩阵的基础上,采用 Ward 最小方差等级聚类分析作出聚类树枝图(图4),由图4可知,各采样点在 0.8 的距离水平上分为 2 个聚类类型,各聚类包含站点和所处位置不同。从聚类结果可以看出,沭河采样点 2、3、4 自成一束,群落组成差异较小,但样点 5 不同,其位于沭河和新沂河的交汇口,具有不同的群落结构。水库采样点 1、14、15 自成一束,其中 1 号采样点为小型水库,14、15 为中型水库。水库采样点和沂河水域采样点具有较高的相似性。

基于 Bray-Curtis 距离的相似性系数对各采样点和河流

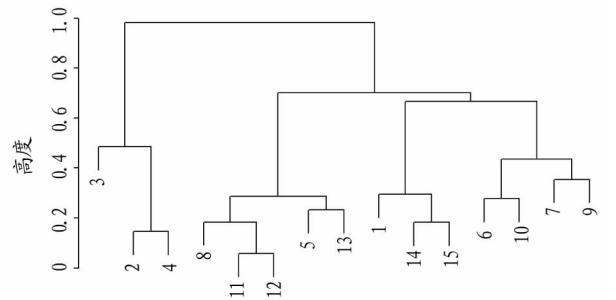


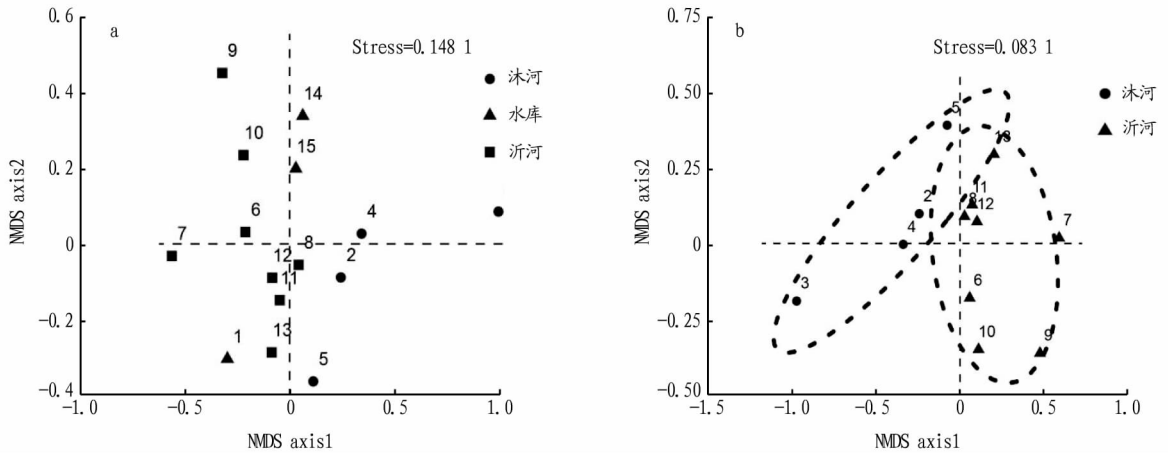
图4 基于 Bray-Curtis 距离的采样点聚类结果

Fig. 4 Clustering result of sampling points based on Bray-Curtis distance

的浮游植物优势种属进行非度量多维标度 (non-metric multi-dimensional scaling, NMDS) 分析排序,分析结果(图5)显示,各采样点总体 Stress 值为 0.148 1,河流样本 Stress 值为 0.083 1,样本协系数显示其拟合程度分别为一般和较高。图5中任意样本的距离代表其相似度,距离越近表示具有较高的生境需求。各采样点的 NMDS 分析结果和 Ward 最小方

差等级聚类分析结果一致,均可分为 2 组,其中水库和沂河的浮游植物具有较高的相似性,但中型水库和小型水库的浮

游植物的相似度较低。单独对河流样本的 NMDS 分析显示其可分为 2 组,分别是沭河和沂河。



注:a. 总样本,b. 河流样本

Note:a. All sampling points,b. Only rivers

图 5 NMDS 样本排序

Fig. 5 Bio-ordination of samples with NMDS

### 3 讨论

**3.1 新沂市浮游植物群落空间分布** 新沂市位于华北平原,属淮河流域沂、沭水系,其境内水网发达,特别是骆马湖,为江苏省第四大淡水湖泊。据《江苏鱼类志》记载,骆马湖浮游植物共有 89 属 102 种<sup>[18]</sup>。受调查季节、时间的限制,调查结果差异较大,相关研究表明,在 2017 年夏季发现骆马湖浮游植物有 6 门 32 属,而全年监测结果显示,骆马湖浮游植物共有 7 门 71 种属<sup>[9,19]</sup>。沂、沭流域的历史调查资料较为匮乏,沂河流域的历史调查结果表明浮游植物有 7 门 73 属<sup>[20]</sup>。在目前已知的调查结果中,骆马湖、沂河主要以蓝藻、绿藻和硅藻为主,与该调查结果较为一致,该调查共发现浮游植物 7 门 84 属,重量、密度的高值主要出现在沭河。

在空间分布上,浮游植物群落的地理差异明显,骆马湖(11~12)和水库(1、14、15)主要以蓝藻、绿藻为主,沂河(7~10)主要以硅藻、绿藻为主,沭河(2~5)主要以蓝藻为主。在稳定的湖泊、水库等水体中绿藻、蓝藻易形成相互竞争的群落优势种,而在河流等混合度较高的不稳定水体中硅藻所占比例会大幅提高,其次硅藻门属于较为原始的门类,更能适应生存在一些极端环境中<sup>[21]</sup>。

从密度和生物量上来看,沭河流域浮游植物的平均密度要高于其他调查区域。沭河穿越人口稠密的新沂市区,外来性营养物质的不断输入,增加了水体环境的异质性,其间拦河闸坝较多,闸坝的建设虽然在防洪、灌溉等方面取得了较大的经济效益,但也在不同程度上引起河道干涸、断流以及水动力学的变化,对河流的生态环境带来了巨大影响<sup>[22]</sup>。一方面,闸坝等水利工程建设不仅切断了河流的连通性,阻碍水生生物的自然迁移,容易造成污染物富集<sup>[23]</sup>,进而使得浮游植物群落结构趋于单一化,耐污物种大量繁殖,降低浮游植物多样性;另一方面,闸坝调控所导致的河道水动力条件的改变也会在很大程度上影响水生环境中浮游植物

的群落结构及密度分布<sup>[24]</sup>。

**3.2 新沂市浮游植物的多样性特征** 物种多样性是指用一定空间范围内物种的数量和分布特征来衡量生物的多样性水平,评价群落种类的丰富度、数量分布的均匀程度和异质性。基于生物多样性指数法对新沂市各采样点的评价结果表明,多数水体处于轻污或者中度污染水平,采样点 3 具有最小值,浮游植物物种种类为 11 种属,其浮游植物群落多样性水平较低,从密度和生物量的角度来看,具有富营养化的趋势。有报道指出,一般水体所受污染越严重,Shannon-Wiener 多样性指数越低,而浮游植物种类数越接近,Pielou 均匀度指数越高<sup>[25]</sup>。Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 指数评价结果有一定的差别,有研究指出,Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数对浮游植物群落多样性有较好的解释,而用 Margalef 指数解释浮游植物群落多样性时应谨慎<sup>[26]</sup>。

物种聚类和排序的结果反映了物种的分布和数量,非度量多维标度分析是以排序为手段的统计分析方法来研究群落组成和演替与环境因子的关系<sup>[17]</sup>,主要思想是使用尽可能少的排序轴(通常是 2~3 轴)充分展示不同样方群落结构的距离关系。将聚类分析与排序结合在一起使用,2 种方法相辅相成,能更好、更直观地解释物种之间的相似性关系。聚类分析显示,样本点可分为 2 组。由于不同采样点的环境差异造成了浮游植物群落的组成差异,夏季沭河和沂河流域具有不同的浮游植物群落结构。除此之外,水库和沂河的浮游植物群落结构相似性较高,究其原因主要是由于水库采样点较少或沭河下游骆马湖湖区浮游植物的生活环境和水库的生活环境有一定的相似性。

### 参考文献

[1] VILLEGAS I, DE GINER G. Phytoplankton as a biological indicator of water quality [J]. Water research, 1973, 7(3): 479-487.

(下转第 81 页)



秆堆积问题。

### 3 结论与建议

(1) 湖北省作物总产量巨大, 秸秆资源总量较大, 人均占有量丰富。湖北省作物总产量 3 191.06 万 t, 预测秸秆资源量达到 4 613.242 0 万 t, 人均占有量 0.751 1 t。

(2) 目前秸秆还田是主要利用方式, 其次是作为饲料喂养牲畜。秸秆焚烧仍然存在且比重较大, 秸秆资源化利用途径还有待开发。

(3) 政府在推广“禁止焚烧秸秆”的举措基本完成, 但由于经济、成本以及人力物力和技术等方面因素, 积极推进秸秆资源化利用仍面临困难。建议通过定期宣传、定向知识普及提高农户认知问题; 采取扶持政策, 通过适当的经济补偿促进秸秆资源的非焚烧化处理; 与秸秆需求商对接, 开发综合利用途径, 变废为宝。

### 参考文献

[1] 李应超, 赵林青, 李辰淼, 等. 我国秸秆资源利用现状及其炭化利用展望[J]. 农业科技通讯, 2018(5): 12-14.  
 [2] 闵超, 安达, 王月, 等. 我国农村固体废弃物资源化研究进展[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 151-160.  
 [3] 李龙涛, 李万明, 孙继民, 等. 城乡有机废弃物资源化利用现状及展望

[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(3): 264-271.  
 [4] 何亚萍. 河南省循环农业发展研究: 以秸秆综合利用为例[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.  
 [5] 朱立志. 秸秆利用应改变废弃物处理思维[J]. 甘肃农业, 2018(11): 58-59.  
 [6] 张庆阳, 高原. 国外秸秆变废为宝再利用概览[J]. 世界环境, 2019(2): 74-76.  
 [7] 国外怎样综合利用秸秆[J]. 甘肃农业, 2018(10): 55.  
 [8] 靳贞来, 靳宇恒. 国外秸秆利用经验借鉴与中国发展路径选择[J]. 世界农业, 2015(5): 129-132.  
 [9] 傅志前, 朱兰玺. 国外秸秆建筑的产生与发展研究[J]. 工业建筑, 2012, 42(2): 33-36.  
 [10] 周颖, 王峰, 刘新彩, 等. 桂林市农作物秸秆综合利用现状及对策分析[J]. 农业科技通讯, 2019(1): 32-33.  
 [11] 袁嘉晨, 曹红亮, 李明来, 等. 秸秆资源回收发电的经济可行性测算: 以湖北为例[J]. 太阳能学报, 2017, 38(7): 2012-2019.  
 [12] 苏瑶, 杨艳华, 贾生强, 等. 秸秆还田下的主要产地环境问题及其绿色防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(6): 711-717.  
 [13] 张莉, 李玉义, 逢焕成, 等. 玉米秸秆颗粒还田对土壤有机碳含量和作物产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(2): 160-168.  
 [14] 余枭, 谢晓航, 叶萌, 等. 秸秆饲料化全细胞纤维素酶的构建及应用[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(5): 687-693.  
 [15] 江亚停. 浅析秸秆发酵床养猪技术[J]. 兽医导刊, 2019(17): 64-65.  
 [16] 王丽伟, 王川, 王伟. 机械化秸秆还田技术推广现状与对策: 以安徽省为例[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(34): 293, 319.  
 [17] 张士胜, 霍家佳, 洪登华, 等. 我国农作物秸秆收储运体系现状·问题及对策[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(19): 260-261, 264.

(上接第 77 页)

[2] SPATHARIS S, ROELKE D L, DIMITRAKOPOULOS P G, et al. Analyzing the (mis) behavior of Shannon index in eutrophication studies using field and simulated phytoplankton assemblages[J]. Ecological indicators, 2011, 11(2): 697-703.  
 [3] 高世荣, 潘力军, 孙凤英, 等. 用水生生物评价环境水体的污染和富营养化[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(6): 174-176.  
 [4] DIRECTIVE E C. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy[J]. Official journal of the European communities, 2000, 327: 1-72.  
 [5] 吴波. 上海苏州河、黄浦江浮游植物群落结构及其对环境指示作用的研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2006.  
 [6] 胡方凡. 袁河浮游藻类群落结构及其与环境因子关系的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2011.  
 [7] 徐德兰, 万蕾, 高明侠, 等. 骆马湖东部沉积物中氮磷含量和碱性磷酸酶活性季节变化[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1387-1392.  
 [8] 覃宝利, 唐金玉, 王宣朋, 等. 骆马湖夏季浮游植物群落结构变化及其驱动因子分析[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(9): 1172-1181.  
 [9] 彭凯, 李太民, 刘利, 等. 苏北骆马湖浮游植物群落结构及其水质生物评价[J]. 湖泊科学, 2018, 30(1): 183-191.  
 [10] 钱奎梅, 高明侠, 孙玲. 骆马湖浮游植物群落结构的区域差异研究[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2018, 33(4): 45-48.  
 [11] 生态环境部. 关于发布县域生物多样性调查与评估技术规定的公告[R]. 2017.  
 [12] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

[13] 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.  
 [14] WILHM J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. Ecology, 1968, 49(1): 153-156.  
 [15] 沈温芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.  
 [16] 邓建明, 汤祥明, 邵克强, 等. 非度量多维标度在亲水河浮游植物群落分析中的应用[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(1): 150-156.  
 [17] 彭松耀, 李新正, 王洪法, 等. 南黄海春季大型底栖动物优势种生态位[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1917-1928.  
 [18] 倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.  
 [19] 张庆吉, 王业宇, 王金东, 等. 骆马湖浮游植物演替规律及驱动因子[J]. 环境科学, 2020, 41(4): 1648-1656.  
 [20] 高远, 苏宇祥, 亓树财. 沂河流域浮游植物与水质评价[J]. 湖泊科学, 2008, 20(4): 544-548.  
 [21] DESCY J P, DARCHAMBEAU F, LAMBERT T, et al. Phytoplankton dynamics in the Congo River[J]. Freshwater biology, 2017, 62(1): 87-101.  
 [22] 刘祥, 陈凯, 陈求稳, 等. 淮河流域典型河流夏秋季底栖动物群落特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学学报, 2016, 36(6): 1928-1938.  
 [23] 徐艳红, 于鲁冀, 吕晓燕, 等. 淮河流域河南段退化河流生态系统修复模式[J]. 环境工程学报, 2017, 11(1): 143-150.  
 [24] 左其亭, 刘静, 窦明. 闸坝调控对河流水生态环境影响特征分析[J]. 水科学进展, 2016, 27(3): 439-447.  
 [25] 魏志兵, 何勇凤, 龚进玲, 等. 金沙江干流浮游植物群落结构特征及其时空变化[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(6): 1356-1365.  
 [26] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.