

柳溪湖湿地生态修复前后浮游植物群落结构变化

梁亚森¹, 姜海霞², 谭鹏³, 翟昊², 刘曼红^{2*}

¹黑龙江挠力河国家级自然保护区管理局建三江分局创业管理站, 黑龙江 富锦

²东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

³银川市湿地保护中心, 宁夏 银川

Email: *manhong@nefu.edu.cn

收稿日期: 2021年7月19日; 录用日期: 2021年8月20日; 发布日期: 2021年8月27日

摘要

为研究生态修复对浮游植物群落结构和生物多样性的影响, 分别于2015年和2020年的夏季(7月)与秋季(10月)在宁夏柳溪湖湿地选取6个样点进行调查研究。使用SPSS12.0进行Kolmogorov Smirnov检验、one-way ANOVA和Kruskal-Wallis检验, 并利用PSAT326b.1.1进行生物多样性分析。研究结果显示, 生态修复后柳溪湖浮游植物种类增加, 绿藻门浮游植物最为显著; 藻类丰度与生物量均普遍升高, 分别可达72,486.11 ind·L⁻¹和13.77 mg·L⁻¹; 优势种种数减少, 优势度指数相比于修复前升高; 生态修复后呈现Shannon-Wiener多样性指数(H)下降而Pielou均匀度指数(J)夏季上升、秋季下降的特点。上述调查结果表明, 在生态修复中柳溪湖浮游植物群落并不稳定, 需要较长时间的演替使得生态系统趋于稳定。

关键词

柳溪湖, 生态修复, 浮游植物, 生物指数

Changes of Phytoplankton Community Structure before and after Ecological Restoration in Liuxi Lake

Yasen Liang¹, Haixia Jiang², Peng Tan³, Hao Zhai², Manhong Liu^{2*}

¹Entrepreneurial Management Station of Jiansanjiang Branch, Heilongjiang Naolihe National Nature Reserve Administration, Fujin Heilongjiang

²College of Wildlife and Protected Areas, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

³Yinchuan Wetland Protection Center, Yinchuan Ningxia

Email: *manhong@nefu.edu.cn

*通讯作者。

文章引用: 梁亚森, 姜海霞, 谭鹏, 翟昊, 刘曼红. 柳溪湖湿地生态修复前后浮游植物群落结构变化[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(4): 856-863. DOI: 10.12677/aep.2021.114102

Abstract

In order to study the impact of ecological restoration on phytoplankton community structure and biodiversity, six samples were selected from Liuxi Lake Wetland in Ningxia in summer (July) and autumn (October) in 2015 and 2020. Kolmogorov Smirnov test, one-way ANOVA and Kruskal-Wallis test were performed using SPSS12.0, and biodiversity analysis was performed using PSAT326b. 1.1. The results showed that the species of phytoplankton in Liuxi Lake increased after ecological restoration, and the phytoplankton of Chlorophyta was the most significant. The abundance and biomass of algae were generally increased, up to 72,486.11 ind·L⁻¹ and 13.77 mg·L⁻¹, respectively. The number of dominant species decreased and the dominance index increased compared with that before repair. After ecological restoration, Shannon-Wiener diversity index (H) decreased, Pielou evenness index (J) increased in summer and decreased in autumn. The above survey results showed that the phytoplankton community in Liuxi Lake was not stable in ecological restoration, and it would need a long time of succession to make the ecosystem tend to be stable.

Keywords

Liuxi Lake, Ecological Restoration, Phytoplankton, Biotic Index

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湖泊湿地是陆地表面封闭洼地中积水形成的比较宽阔的水域，柳溪湖湿地位于宁夏，气候和地理条件决定当地的水量少而蒸发量大，加上人类干扰使湖泊面积萎缩、水质恶化、生物多样性降低、形态结构破坏，致使湖泊湿地的生态功能退化[1] [2]。生态修复的研究中发现在退化湿地修复中，浮游植物物种数量表现为：修复早期高于中期和近期，物种数量和优势种的优势度在修复早期低于中期和近期，修复时期越早，浮游植物群落结构表现越稳定，治理效果显著。Ameen Fuad 等人(2019)的研究，修复的湿地浮游植物多样性和丰富度都低于自然湿地，而且在修复的湿地中蓝藻的数量比自然湿地更加丰富，由此表明，生物多样性要达到生态系统功能稳定需要较长的时间[3]。

以恢复自然生态系统功能为目标的湿地修复正受到世界各国的关注[3]，通过自然修复和人工修复相结合的方式用于生态修复措施，改善湖水水质及修复湿地生态。浮游植物作为湿地生态系统中的初级生产者，其群落结构变化与环境因子密切相关，浮游植物可对环境条件变化迅速做出响应，其种类组成、数量和优势种在不同的水环境中变化很大[4] [5] [6]。本文针对生态修复前后浮游植物的群落结构和生物多样性的比较分析，来研究生态修复对柳溪湖湿地的影响。

2. 研究地概况与研究方法

2.1. 研究地概况

柳溪湖湿地面积 107 hm²，位于宁夏吴忠市利通区吴忠黄河国家湿地公园内，比邻黄河，地理坐标为东经 106°8'20"~106°9'32"，北纬 37°58'58"~38°0'5"，属典型的温带干旱半干旱气候，海拔 1130 m。吴忠

黄河国家湿地公园于 2009 年批复试点建设, 2012 年验收通过后, 公园免费为公众开放。柳溪湖毗邻黄河, 主要补水为黄河水。

柳溪湖湿地开展不同程度的生态旅游活动, 在国家政策、地方政府和相关部门的支持和指引下, 进行生态补水、水质改善处理、清淤疏浚、增殖放流、植被恢复以及退渔还湿等多项生态修复措施, 并不断加大湖泊湿地保护力度。

2.2. 采样点设置

此研究根据柳溪湖实际情况设置了 6 个采样点, 分别于 2015 年与 2020 年的夏季(7 月)和秋季(10 月)进行采样, 根据湖泊的地理状况, 在湖心、调水航道中心、主要的进水口和出水口、湖泊沿岸带(水草根垫)、湖泊航道、湖泊底泥疏浚带等布设采样点。采样点分布见图 1, 各样点利用 GPS 定位和各样点环境特征详见表 1。

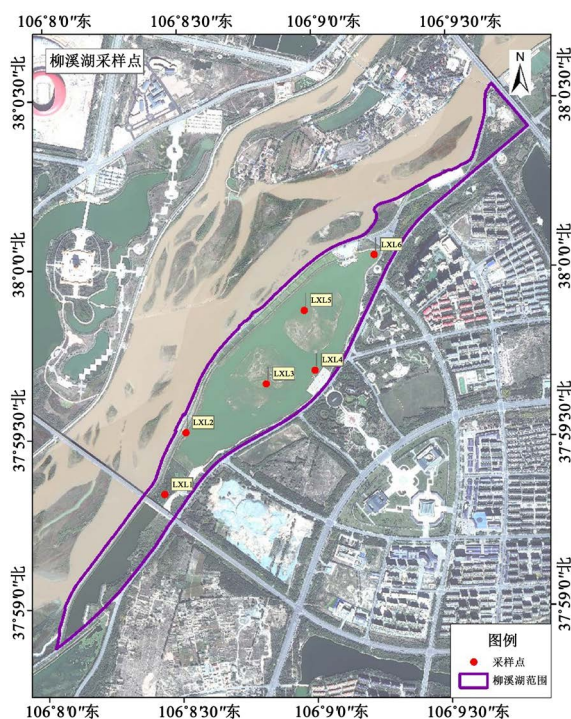


Figure 1. The geographical location of sampling sites
图 1. 采样点的地理位置示意图

Table 1. Coordinates of sampling points and environmental characteristics of aquatic organisms in Liuxi Lake
表 1. 柳溪湖水生生物调查采样点坐标及环境特征

样点	经度	纬度	采样点环境特征
LXL1	106°8'26.10"	37°59'20.20"	公路桥下, 沙砾底质, 水呈黄绿色
LXL2	106°8'31.00"	37°59'31.10"	地质以鹅卵石底为主, 水呈黄绿色
LXL3	106°8'49.10"	37°59'39.60"	地质以鹅卵石底为主, 水呈黄绿色
LXL4	106°9'0.03"	37°59'41.92"	地质以鹅卵石底为主, 水呈黄绿色
LXL5	106°8'57.74"	37°59'52.53"	地质以鹅卵石底为主, 水呈黄绿色
LXL6	106°9'13.54"	38°0'2.28"	水泥硬质堤岸附近, 岸上植被覆盖率高

2.3. 数据处理与分析

使用浮游生物网采用垂直拖网方式采样样品用中性甲醛溶液(浓度为采集样品的 4%~5%)固定, 定性样品沉淀 24 h 后, 摇匀后取中间层水样制作临时封片在显微镜下观察浮游植物形态特征, 并对浮游植物进行定性鉴定; 浮游植物定量样品用有机玻璃采水器取水样 1 L 装入聚乙烯瓶中水样采集后应立即用鲁哥氏液固定, 水样经过 48 h 两次沉淀后被浓缩至 20~30 mL 取 0.1 mL 均匀样品在光学显微镜下进行种类鉴定和细胞计数[7]。

对浮游植物的优势度及生物多样性特征进行描述, 依据 McNaughton 优势度指数(Y) [8] [9]确定优势种, 计算公式为 $Y = N_i/N \times F_i$, 式中, N_i 为物种 i 的数量; N 为所有物种的总数量; F_i 为物种 i 出现的频率; 在 Excel 中计算各年份各季节浮游植物优势度, 优势度 $Y > 0.02$ 的为优势种。定义该物种为优势种, $Y > 0.1$ 为绝对优势种[10] [11]。

使用 SPSS12.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA)检测物种多样性之间是否存在组间差异。对于不能同时满足方差同质性和分布正态性的变量, 进行对数转换[lg (1 + x)]或用非参数 Kruskal-Wallis 检验。利用 PSAT326b.1.1 软件计算浮游植物生物多样性指数, Shannon-Wiener 多样性指数(H') [12]、Margalef 丰富度指数(d) [13]以及 Pielou 均匀度指数(J) [14]进行生物多样性分析。

Margalef 指数(D)反映指一个群落或多寡, 即生物物种的丰富度程度; Shannon-Wiener 指数(H)大小意味着群落多样性的高低, 可以预测群落中下一个采集到的样本属于哪一种, 如果群落的多样性越高, 采集的不定性就越大, 故 H 值越大, 多样性越高, 反之物种多样性越低。如: 当 $H \leq 1$ 时, 物种组成较少; 当 $1 < H \leq 3$ 时, 物种组成适中; 当 $H \geq 3$ 时物种组成高。Pielou (J)均匀度指某一群落或生境中全部物种个体数目的分配状况, 其反映了各物种个体数目分配的均匀程度。若各物种个体数越接近, 均匀度就越大[15]。

3. 结果与分析

3.1. 生态修复对柳溪湖浮游植物物种组成的影响

如图 2 所示, 柳溪湖 2015 年夏季共鉴定出浮游植物 6 门 48 种及其变种, 2020 年夏季共鉴定出浮游植物 8 门 188 种及其变种, 2015 年秋季共鉴定出浮游植物 7 门 29 种及其变种, 2020 年秋季共鉴定出浮游植物 7 门 79 种及其变种; 生态修复后绿藻门、蓝藻门、硅藻门、裸藻门植物种类显著增多, 出现了金藻门、黄藻门浮游植物。

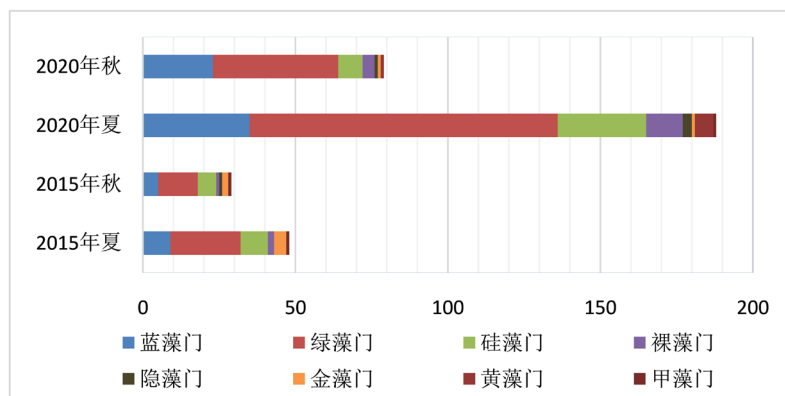


Figure 2. Phytoplankton species composition in Liuxi Lake

图 2. 柳溪湖浮游植物物种组成

3.2. 生态修复前后浮游植物优势种变化

如表 2, 生态修复前后柳溪湖浮游植物优势种的种类和数量发生了变化, 夏季由 2015 年的 13 种变为 2020 年的 7 种, 2020 年秋季鉴定出浮游植物优势种共 12 种, 优势种种类减少。2015 年优势度指数在 0.022~0.099 之间波动, 2020 年优势度在 0.020~0.190 之间波动, 总体呈上升趋势。生态修复后柳溪湖浮游植物优势种以蓝藻、绿藻、硅藻为主, 生态修复前还包括金藻; 2015 年与 2020 年夏季最优势物种分别为短线脆杆藻(*Fragilaria brevistriata*)和肘状针杆藻(*Synedra ulna*), 均属于硅藻门, 说明水质一直较为清洁。

Table 2. Dominant species of phytoplankton in Liuxi Lake

表 2. 柳溪湖浮游植物优势种

时间	优势种	优势度	
2015 年夏季	短线脆杆藻	<i>Fragilaria brevistriata</i>	0.099
	四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.093
	棕鞭藻属一种	<i>Ochromonas</i> sp.	0.087
	华美色金藻	<i>Chromulina elegans</i>	0.086
	钝脆杆藻	<i>Fragilaria capucina</i>	0.078
	空球藻	<i>Eudorima elegans</i>	0.065
	球衣藻	<i>Chlamydomonas globosa</i>	0.062
	马氏平裂藻	<i>Merismopedia marssonii</i>	0.053
	多棘栅藻	<i>Scenedesmus spinosus</i>	0.050
	四足十字藻	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0.047
	卵形衣藻	<i>Chlamydomonas ovalis</i>	0.036
	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>	0.032
	纤细角星鼓藻	<i>Staurastrum gracile</i>	0.022
2020 年夏季	肘状针杆藻	<i>Synedra ulna</i>	0.176
	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>	0.112
	弯形小尖头藻	<i>Raphidiopsis curvata</i>	0.082
	四足十字藻	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0.027
	中华小尖头藻	<i>Raphidiopsis sinensia</i>	0.024
	微小平裂藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	0.024
	被甲栅藻	<i>Scenedesmus armatus</i>	0.022
2020 年秋季	中华小尖头藻	<i>Raphidiopsis sinensia</i>	0.190
	水华束丝藻	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	0.166
	弯形小尖头藻	<i>Raphidiopsis curvata</i>	0.099
	极大节旋藻	<i>Arthrospira maxima</i>	0.094
	肘状针杆藻	<i>Synedra ulna</i>	0.059
	被甲栅藻	<i>Scenedesmus armatus</i>	0.039
	尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>	0.039
	微小平裂藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	0.034
	尖细栅藻	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	0.030
	伪鱼腥藻	<i>Pseudoanabaena schmidlei</i>	0.028
	微小四角藻	<i>Tetraedron minimum</i>	0.025
	细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>	0.020

3.3. 生态修复对柳溪湖浮游植物丰度与生物量的影响

丰度和生物量是构成浮游植物群落结构特征的重要指标,生态修复后浮游植物丰度和生物量普遍远大于生态修复前,均呈现夏季高于秋季的季节变化,柳溪湖夏季藻类丰度由 $1630.6 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $72486.11 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$, 增大 44 倍; 秋季由 $1591 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到 $11473.96 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$, 增大 7 倍。生态恢复工程实施后,柳溪湖藻类生物量相同季节比较也都增加,夏季藻类生物量由 $3.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加为 $13.77 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 增大 4 倍; 秋季由 $3.24 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加为 $4.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 虽有增大但不足 1 倍,生态修复使浮游植物群落结构发生了很大变化(图 3)。

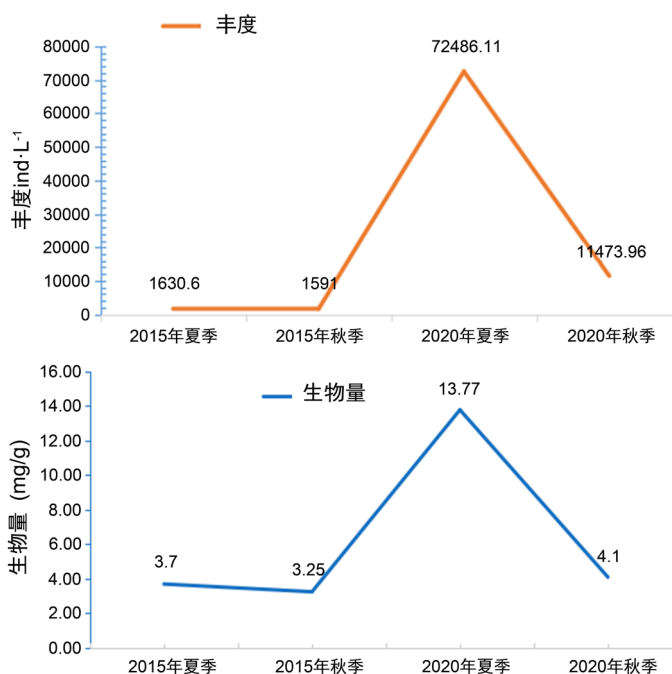


Figure 3. The abundance and biomass of phytoplankton in Liuxi Lake
图 3. 柳溪湖浮游植物丰度与生物量

3.4. 生态修复对柳溪湖浮游植物生物多样性的影响

单因素方差分析显示柳溪湖各样点间生物多样性指数无显著差异($P > 0.05$)。如表 3 所示,生态修复前后柳溪湖夏季 Shannon-Wiener 多样性指数(H')由 3.9235 下降为 3.6230, Pielou 均匀度指数(J)由 0.7370 下降为 0.7050; 秋季 Shannon-Wiener 多样性指数(H')由 3.7945 下降为 2.8610, Pielou 均匀度指数(J)由 0.7490 上升为 0.8620。柳溪湖呈现 Shannon-Wiener 多样性指数(H')下降而 Pielou 均匀度指数(J)夏季上升、秋季下降的特点(表 3)。

Table 3. Biodiversity index of phytoplankton in Liuxi Lake

表 3. 柳溪湖浮游植物生物多样性指数

采样时间	H'		J	
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差
2015年夏季	3.9235	0.097	0.7370	0.117
2015年秋季	3.7945	0.071	0.7490	0.055
2020年夏季	3.6230	0.564	0.7050	0.084
2020年秋季	2.8610	0.065	0.8620	0.057

4. 讨论

通过对生态修复前后柳溪湖浮游植物群落结构的比较,发现经过 5 年的生态修复,柳溪湖浮游植物种类和数量较修复前明显增多,其中绿藻门、蓝藻门、硅藻门、裸藻门浮游植物种类增加显著;优势种类减少,优势度指数较 2015 年总体呈上升趋势;2015 年与 2020 年夏季最优势物种分别为短线脆杆藻和肘状针杆藻,均属于硅藻门,说明水质一直较为清洁。

生态修复后浮游植物丰度和生物量普遍远大于生态修复前,均呈现夏季高于秋季的季节变化;柳溪湖藻类生物量相同季节比较也都增加;说明生态修复中的清淤活动使底泥中 N、P 等营养物质大量释放,在一定程度上加快了浮游植物群落演化的进程;并且结合优势度指数,可说明湖泊呈现一定程度富营养化,生态修复后还是不稳定的生态系统,需要长时间的恢复才能达到稳定状态。

温度是影响浮游植物生长的重要限制因素。生态修复前后为绿藻门、蓝藻门浮游植物种类较多,蓝藻门、绿藻门[16]浮游植物的生长最适温度较高,而在 2020 年秋季柳溪湖中作为优势物种的水华束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)和中华小尖头藻 R (*Raphidiopsis sinensia*)丰度降低,也与秋季气温降低有关。

生态修复前后柳溪湖呈现 Shannon-Wiener 多样性指数(H')下降而 Pielou 均匀度指数(J)夏季上升、秋季下降,湖泊生物多样性较高,群落信息含量大,但均匀度较高,存在着占绝对优势地位的物种,说明生态系统并没有达到完整的状态。

5. 结论

此次调查结果发现,浮游植物群落结构,优势种、丰度、生物量都发生很大变化。物种丰富度增加,优势物种数也增加,优势度指数增加,说明生态修复后的浮游植物群落并不稳定,并且平均丰度与生物量大幅提高,多样性指数下降。通过指示生物、优势度、丰度、生物量和生物多样性指数等进行评价,发现柳溪湖存在着富营养化现象,浮游植物仍处于演替之中,要使柳溪湖生态系统达到稳定,还需要较长时间生态修复和进一步监测。

参考文献

- [1] Crossetti, L.O. and Carlos, C.E. (2008) Phytoplankton as a Monitoring Tool in a Tropical Urban Shallow Reservoir (Garças Pond): The Assemblage Index Application. *Hydrobiologia*, **610**, 161-173. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9431-z>
- [2] Figueredo, C.C., Pinto-Coelho, R.M., Lopes, A.M.M.B., Gücker, B. and Giani, A. (2016) From Intermittent to Persistent Cyanobacterial Blooms: Identifying the Main Drivers in an Urban Tropical Reservoir. *Journal of Limnology*, **75**, 445-454. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1330>
- [3] Ameen, F., Almaarofi, S., Talib, A., Almansob, A. and Al-Homaidan, A.A. (2019) Phytoplankton Diversity Recovers Slowly and Cyanobacterial Abundance Remains High after the Reflooding of Drained Marshes. *Hydrobiologia*, **843**, 79-92. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04039-6>
- [4] Padisák, J., Crossetti, L.O. and Naselli-Flores, L. (2009) Use and Misuse in the Application of the Phytoplankton Functional Classification: A Critical Review with Updates. *Hydrobiologia*, **621**, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>
- [5] Rodrigues, L., Simões, N., Bovo-Scomparin, V., Jati, S., Santana, N.F., Roberto, M.C., et al. (2015) Phytoplankton Alpha Diversity as an Indicator of Environmental Changes in a Neotropical Floodplain. *Ecological Indicators*, **48**, 334-341. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.009>
- [6] Cunliffe, M., Salter, M., Mann, P., Whiteley, A.S., Upstill-Goddard, R.C. and Colin Murrell, J. (2009) Dissolved Organic Carbon and Bacterial Populations in the Gelatinous Surface Microlayer of a Norwegian Fjord Mesocosm. *FEMS Microbiology Letters*, **299**, 248-254. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2009.01751.x>
- [7] McNaughton, S.J. (1967) Relationships among Functional Properties of Californian Grassland. *Nature*, **216**, 168-169. <https://doi.org/10.1038/216168b0>
- [8] Habib, O.A., Tippett, R. and Murphy, K.J. (1997) Seasonal Changes in Phytoplankton Community Structure in Relation to Physico-Chemical Factors in Loch Lomond, Scotland. *Hydrobiologia*, **350**, 63-79.

<https://doi.org/10.1023/A:1003037012226>

- [9] 陈思, 陈海刚, 田斐, 李艺彤, 张林宝, 张喆, 王学锋, 蔡文贵. 深圳湾浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 生态科学, 2021, 40(1): 9-16.
- [10] 潘成梅. 西藏麦地卡湿地的浮游植物[J]. 湖泊科学, 2021(4): 1-16.
- [11] 熊满堂, 王普泽, 叶少文, 虞功亮, 苑晶, 刘家寿, 张堂林. 丹江口水库浮游植物群落时空特征及其鱼产力评估[J]. 中国水产科学, 2021, 28(6): 715-727.
- [12] Claude, E. and Shannon, W.W. (1964) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- [13] Ramon, M. (1951) Diversidad de Especies en las comunidades naturales. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, **9**, 5-27.
- [14] 商淋友, 刘笳旻, 徐磊, 刘曼红. 三环泡自然保护区大型底栖动物生物多样性研究[J]. 世界生态学, 2020, 9(4): 345-351. <https://doi.org/10.12677/IJE.2020.94044>
- [15] 孙军, 刘东艳. 赤潮生物浮动弯角藻名称小记[J]. 海洋学报, 2003, 27(6): 45-46.
- [16] Yeh, N., Yeh, P. and Chang, Y.H. (2015) Artificial Floating Islands for Environmental Improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **47**, 616-622. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.090>