

# Seasonal Changes of Water Quality Parameters in Lake Yilong

Pei Liu, Fengqin Chang\*, Hucai Zhang, Huyong Li, Rongxin Bi, Lizeng Duan, Lei Fu, Yu Zhou

Key Laboratory of Plateau Lake Ecology & Global Change, Yunnan Provincial Key Laboratory of Geographical Process and Environmental Change on the Plateau, College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan  
Email: liupeiyis@163.com, \*fqchang@niglas.ac.cn

Received: Jul. 15<sup>th</sup>, 2017; accepted: Aug. 7<sup>th</sup>, 2017; published: Aug. 10<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Based on the analysis of water quality parameters, including temperature, chlorophyll-a (Chl-a), dissolved oxygen (DO) and pH of the Lake Yilong during September 2016 to May 2017, the water quality and its spatial-temporal variations were discussed. The results showed that the best water quality of the lake appears in northwest of the lake, attributing to the purification of aquatic plants in the area. There is no notable difference between the water quality in the Dam and center of the lake. The appearances of a DO plunge in the northwest of the lake in September and October resulted in a hypoxia condition in the lake water, and it was found that the depth and amplitude of this DO reduction varies from one place to another, with the seasonal difference. The Chl-a concentration in Lake Yilong showed seasonal and spatial changes too. In the center and the Dam area of the lake, the maximum value occurs in January. However, in the northwest of the lake, the maximum value appears in September and October. The variations of pH of the lake water indicated a strong linkage with algae concentrations. Based on the analysis of water quality parameter in different sites of the lake, it was concluded that the main reason for water quality deterioration of Lake Yilong is unreasonable anthropogenic activities in the area. Therefore, it has been suggested that more attentions should be addressed on effective water quality protection and ecological restoration in the future. Most importantly, all the measurements concerning on the lake water utilization and so-called lake environmental protection should be based on the detailed scientific monitoring, administration and application. This is the only way to keep a sustainable development, with improvement of the eco-environmental in the drainage area.

## Keywords

Lake Yilong, Water Quality Parameters, Human Activity, Dry Season and Soil Damp Season

---

# 异龙湖水质参数的季节性变化

刘培, 常凤琴\*, 张虎才, 李华勇, 毕荣鑫, 段立曾, 付磊, 周瑜

\*通讯作者。

文章引用: 刘培, 常凤琴, 张虎才, 李华勇, 毕荣鑫, 段立曾, 付磊, 周瑜. 异龙湖水质参数的季节性变化[J]. 地理科学研究, 2017, 6(3): 168-178. DOI: 10.12677/gser.2017.63019

云南师范大学旅游与地理科学学院, 高原湖泊生态与全球变化实验室, 云南省地理过程与环境变化重点实验室, 云南 昆明

Email: liupeiy@163.com, \*fqchang@niglas.ac.cn

收稿日期: 2017年7月15日; 录用日期: 2017年8月7日; 发布日期: 2017年8月10日

## 摘要

本文对2016年9月、10月、11月和2017年1月、3月、5月异龙湖不同湖区的温度(Temp)、叶绿素a(Chl-a)、溶解氧(DO)以及pH的水质参数特征进行分析, 结果表明: 异龙湖水质最好的是湖西北, 坝心与湖心位置水质没有明显差异, 主要是由于湖西北水生植物对湖水的净化作用; 湖西北部9月、10月水深1m左右开始出现DO骤降现象形成缺氧环境, 且不同季节溶解氧降低的深度和幅度各不相同; 湖泊富营养化指标中的叶绿素a在异龙湖整个湖体中存在明显的季节性变化。不仅如此, 不同湖区有所不同, 其中坝心与湖心位置表现为1月浓度达到最大值, 湖西北则是9月和10月为最大值; 在所监测的月份中, 异龙湖pH值的变化是多种因素综合作用的结果, 其中水体藻类的浓度对其有主导作用。通过水质参数分析不同湖区水质差异, 认为异龙湖水质恶化的主要原因是人类活动影响的结果。所以今后的发展中, 必须重视水资源的有效保护和生态环境的修复与重建, 充分加强科学监测、科学管理、科学治理, 落实可持续发展思想, 改善湖泊流域生态环境。

## 关键词

异龙湖, 水质参数, 人类活动, 干湿季

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

湖泊是地球上重要的内陆水体生态系统, 具有不可替代的生态功能、社会效益和经济价值[1]。但近几十年来, 不合理的人类活动对湖泊生态系统造成了严重的威胁, 导致我国众多湖泊出现水质急剧恶化的态势, 有些湖体水质污染严重, 超出了湖泊自身所能维持的承载力, 造成湖泊生态系统功能下降甚至退化, 调节能力丧失。因此加强对湖泊水体的长期监测与研究就显得尤为重要。

作为我国五大湖区之一的云贵高原, 是我国天然湖泊分布较多且污染严重的地区。据统计, 云南的高原湖泊中滇池、杞麓湖、星云湖、异龙湖已经处于富营养化状态, 其他湖泊的水质状况也不容乐观[2]。据此国内众多学者都致力于研究湖泊污染问题且从不同角度提出治理策略。张虎才[3]等认为, 由于滇池水体富营养化程度的持续及不合理的工程治理导致湖泊自然物质沉降过程的中断和湖泊自净功能的丧失, 造成水资源受到严重威胁; 秦洁等[4]通过对杞麓湖水质及富营养化的研究, 结果表明湖泊叶绿素 a 浓度与 pH、TN、TP 呈极显著正相关关系, 磷为杞麓湖浮游植物生长潜在的限制性因子, 总氮则为杞麓湖富营养状态贡献最大的环境因子等。

异龙湖原名“邑罗黑”, 是石屏县和建水县重要的水源地, 但是随着经济的发展、人口的增长、城镇化的扩展等人类活动对湖泊流域干扰不断加强, 造成供需矛盾日益突出, 加之环保建设滞后, 湖泊生

态环境保护意识淡薄,使异龙湖湖泊生态面临水体富营养化、水位下降、湖泊沼泽化、生态系统退化等诸多问题。但目前对异龙湖的研究主要侧重于从现状出发分析原因并提出治理对策[5][6]、湖区湿地保护[7]、鱼类产业[8][9]、湿地可持续评价[10][11]、湖泊沉积物代用指标[9]等方面,鲜有从湖泊本身出发通过分析水质参数的季节变化来揭示湖泊污染的最根本的现状和原因。随着湖泊水域面积的持续缩小和挺水植物面积的不断扩大,异龙湖水量和水质无疑将发生由量到质的变化,定量测定异龙湖水质特征成为一项急需的工作。针对上述情况,本研究通过对异龙湖水温、叶绿素 a 浓度、溶解氧浓度、pH 值等水质参数进行全面分析,同时结合各点不同月份的总氮、总磷浓度,整体把握湖泊不同湖区的水体营养状况评价和水质变化,以期为异龙湖治理提供基础数据。

## 2. 材料及方法

### 2.1. 研究区概况

异龙湖地处云南省红河哈尼彝族自治州的石屏县境内(23°39'~23°42'N, 102°30'~102°38'E),在县城异龙镇东南 3 km 处,属珠江流域南盘江水系(图 1)。据 2009 年 11 月 3 日 Landsat5 TM 卫星数据,异龙湖湖泊面积为 33.87 km<sup>2</sup>,流域面积 337.56 km<sup>2</sup>,但到 2013 年 4 月,其湖泊面积仅为 12.23 km<sup>2</sup>,显示了湖泊对干旱气象条件和人类影响的响应。

异龙湖地处低纬高原,属于北亚热带干燥季风与中热带半湿润季风气候区,其特点是干湿季分明、日温差大、年温差小,降雨集中在 5~10 月形成雨季,11 月至翌年 4 月为旱季。异龙湖多年平均降水量 919.9 mm,年最大降水量 1160.4 mm (1997 年),年最小降水量 613.2 mm (1980 年)。湖水主要由湖面降水、地表径流及地下水补给,地表径流中只有城河有常年流水,其它均为季节性河流;原出水河道位于新街海河,向东流经建水汇入泸江,后因异龙湖水位下降及新街海河河床抬高,异龙湖已经成为无外流的浅水湖[9]。另外,湖周围有 22 处泉眼,多分布在西岸,也是湖水的重要来源。异龙湖内水生植物繁盛,沉

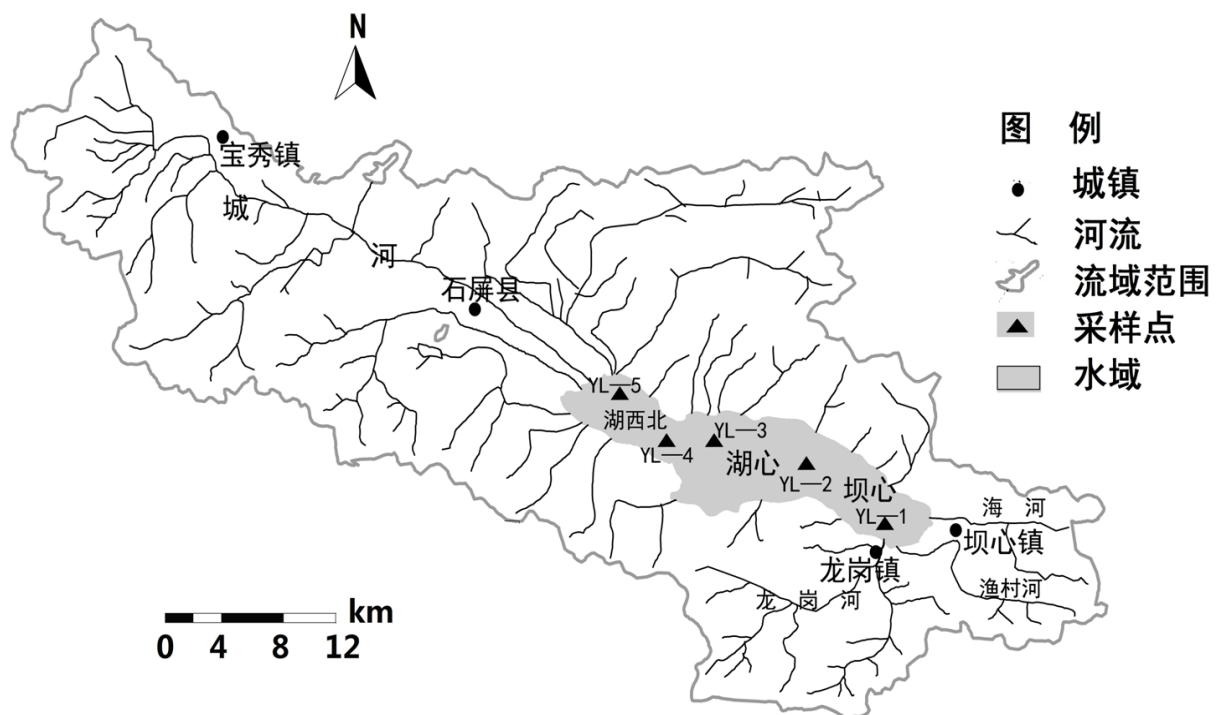


Figure 1. The drainage map & water quality monitoring sites of Lake Yilong

图 1. 异龙湖流域图及水质监测点图

水植物以亮叶眼子菜、马来眼子菜、轮叶黑菜等为主, 遍布全湖(2013年)。据2014年11月云南省环保厅红河州环境监测站对异龙湖水质监测结果表明: 湖泊水质类别劣于V类, 水质重度污染, 未达到III类水环境功能要求, 湖泊为中度富营养状态, 沼泽化程度加剧, 水深日趋变浅, 生物多样性遭到严重威胁[12]。

## 2.2. 数据采集及研究方法

本文旨在了解和认识异龙湖不同湖区水质变化特征, 因此在湖的坝心、湖心和湖西北分别选点进行野外监测(见图1), 探究湖泊水质参数的变化情况以及水质优劣在时间和空间上差异的原因, 为异龙湖的保护工作提供科学依据。作为一个典型的草藻结合的高原浅水型湖泊, 异龙湖主要入湖河流分布于西岸、西北岸和东南岸, 而北岸和南岸以小型的冲积沟为主。湖的西岸和东岸人口稠密、农田广布且工业企业分布众多, 因此为主要的污染源。采样点按照湖体接受污染物来源的方式及污染物扩散的方向而定, 分别在2016年9月、10月、11月和2017年1月、3月、5月进行现场检测。入湖口是接受外来污染物最直接的水域, 因此在坝心和湖西北分别设置了YL-1、YL-5用来分析异龙湖水质的变化情况; YL-3用来检测和代表比较湖中心水质的情况。

本研究采用多参数水质分析仪(仪器型号: YSI-6600V2, 产于美国)进行现场连续测定, 监测开始前进行仪器校正, 野外工作时, 仪器需垂直放入湖内, 以均匀速度逐渐测量采集数据, 必要时以手柄与电缆相连可以实现预设点水温、pH、溶解氧、电导率、浊度、叶绿素a等水质参数的实时接收。另外水体中总氮、总磷的监测采用国家标准方法(《水和废水监测分析方法》第四版, 中国环境科学出版社)碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法和过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法。数据处理采用Excel、Grapher10和Arcgis10.2等软件进行统计分析制图。

## 3. 结果

### 3.1. 水温的季节性变化特征

湖泊温度变化具有很强的季节性, 因为表层湖水吸收太阳能致使温度升高, 当风浪不足以将整个水团扰动、能量不能充分交换时, 垂直温差就会增加[13]。水温的变化主要是由季节性的太阳辐射变化而引起的, 与地区气温基本上同步变化且高度相关[14]。

从图2可以看出, 异龙湖不同湖区水体垂直方向上随着深度的增加水温整体呈下降趋势, 下降幅度为1℃~2℃, 因异龙湖湖盆为一葫芦状, 受风力扰动较小, 符合湖水温度随水深加大而逐渐下降的一般规律。而水温的季节性是非常明显的, 水温最低为11月和1月, 基本都维持在16℃左右。

### 3.2. 叶绿素a

叶绿素a是浮游植物现存量的重要指标, 其含量的高低能够反映水体中藻类数量, 因此叶绿素a是湖泊富营养化调查的一个主要参数, 且在水体营养状况评价中起着关键作用。异龙湖水体叶绿素a的变化存在明显的季节性。

监测数据(图3)显示出以下几个特点: (1)整个湖区在垂直剖面上均随着深度的增加叶绿素a浓度递增, 其中1月时坝心位置叶绿素a从表层的29.4 μg/L递增至底部的81.3 μg/L, 而湖心则变化不大, 从77.6 μg/L增加至83 μg/L, 其他月份基本都随深度增加浓度升高, 但幅度变化并不明显; (2)在湖的西北部, 9月和10月表层叶绿素a比较低, 基本维持在10 μg/L左右, 但到湖底时叶绿素a浓度到达最大值100 μg/L; 11月表层也只是维持在2.9 μg/L, 到达湖底部浓度达35 μg/L, 而且就检测月份来看, 湖西北湖底叶绿素a含量相较于坝心和湖心来说都属于高浓度。这种高浓度叶绿素a现象在高原湖泊中是非常罕见的。

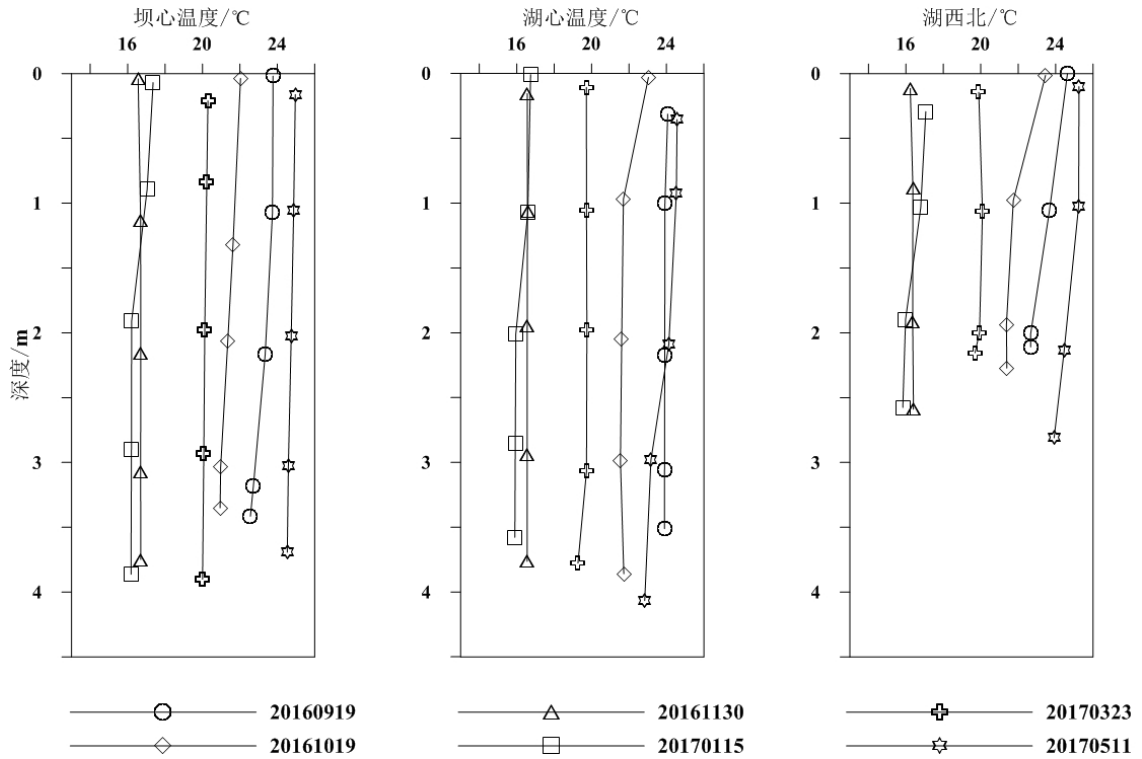


Figure 2. Vertical profile of water temperature in lake Yilong  
 图 2. 异龙湖水温垂直分布图

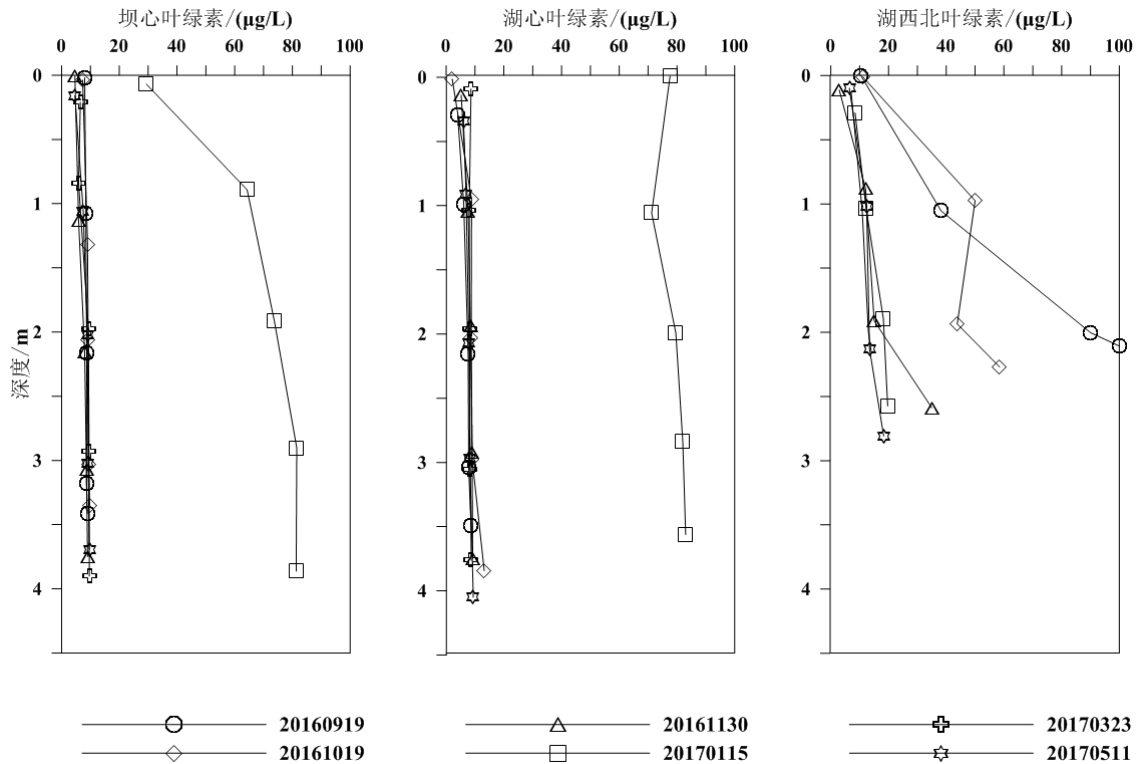


Figure 3. Vertical profile of chlorophyll in lake Yilong  
 图 3. 异龙湖叶绿素 a 垂直分布图

### 3.3. 溶解氧(DO)

溶解氧(DO)是指溶解在水中的分解态氧,是维持水体生态环境动态平衡的重要因子和维持水生生物生存的必要条件,同时溶解氧还参与部分物质转化[15];与其他参数相比,溶解氧的浓度能够反映出水体受到的污染程度,特别是有机物的污染程度,是衡量水质的重要指标[16]。一般情况下,随着水温的下降水体中溶解氧的浓度应该呈现上升趋势,但异龙湖的监测结果恰恰相反,出现水温的下降伴随着水体中溶解氧的降低,甚至有时会出现低氧区的情况。异龙湖水体相较于一般平均水深3 m左右的浅水湖泊来说,溶解氧浓度的变化显示了十分特殊的时空变化特征。

从溶解氧曲线(图4)在不同月份、垂向和水平上的变化过程可以看出,异龙湖溶解氧就所测量的月份而言,均表现为表层溶解氧浓度较高,垂直方向上随深度增加浓度呈降低的趋势,但是降低的幅度在不同湖区存在差异且具有明显的季节性,其中湖西北部溶解氧显示出有别与其他浅水湖泊的特殊之处,即9月在水深1.8 m时水中的溶解氧浓度为0.43 mg/L出现缺氧环境;而10月这种缺氧环境则出现在水深为1.5 m左右,之后其他月份无缺氧现象。缺氧环境在异龙湖的湖西北部的出现是偶然现象还是经常的发生,有待于进行考究。

### 3.4. pH 值

pH是控制湖泊富营养化、沉积物磷循环的重要因素,它的形成除了与地质背景、气候条件、大地热流等有关外,也是人为富营养化过程中不断变化的营养元素汇入、富有藻类繁殖及溶解氧含量等要素相互作用的结果。高pH值是云南高原湖泊的特征之一,有研究认为pH值与藻类生长关系密切,藻类光合

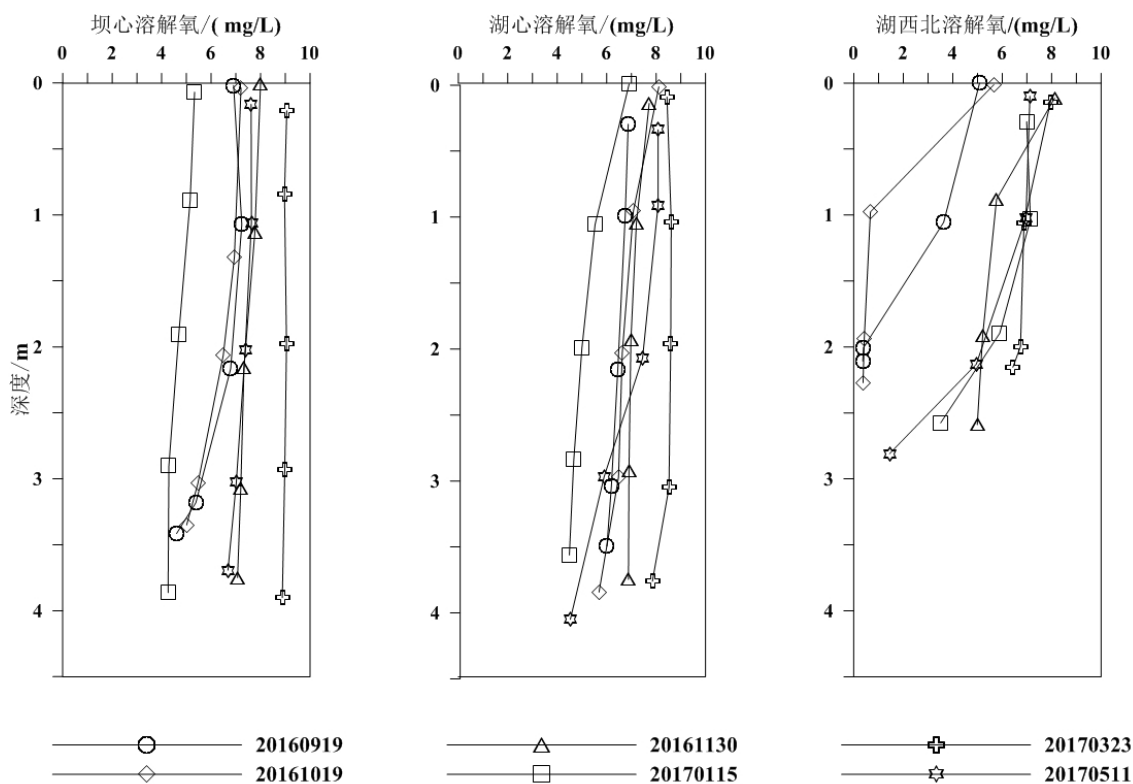


Figure 4. Vertical profile of Dissolved Oxygen (DO) in lake Yilong  
图4. 异龙湖溶解氧垂直分布图

作用影响 CO<sub>2</sub> 缓冲体系，从而影响水体 pH 值得高低，即当水体 pH 为 8.5 左右时藻类生长状况最好，pH 高于 9.5 时生长最差[17]。

从实地检测数据来看(图 5)，异龙湖水体 pH 值变化范围在 7~9 之间，且垂直变化上比较均一，同时每个月份 3 个湖区的 pH 都处于藻类生长适宜的范围。

### 3.5. 总磷(TP)总氮(TN)分布特征

表 1 和表 2 分别为我国湖泊 TN、TP 的水环境质量、富营养化的评价标准，表 3 为异龙湖 2016 年 10 月、11 月和 2017 年 3 月、5 月 TN、TP 监测值的描述统计量。

由表 3 可见，2016 年 10 月、11 月和 2017 年 3 月、5 月这 4 个月 TN 的平均浓度较高，坝心(YL-1)

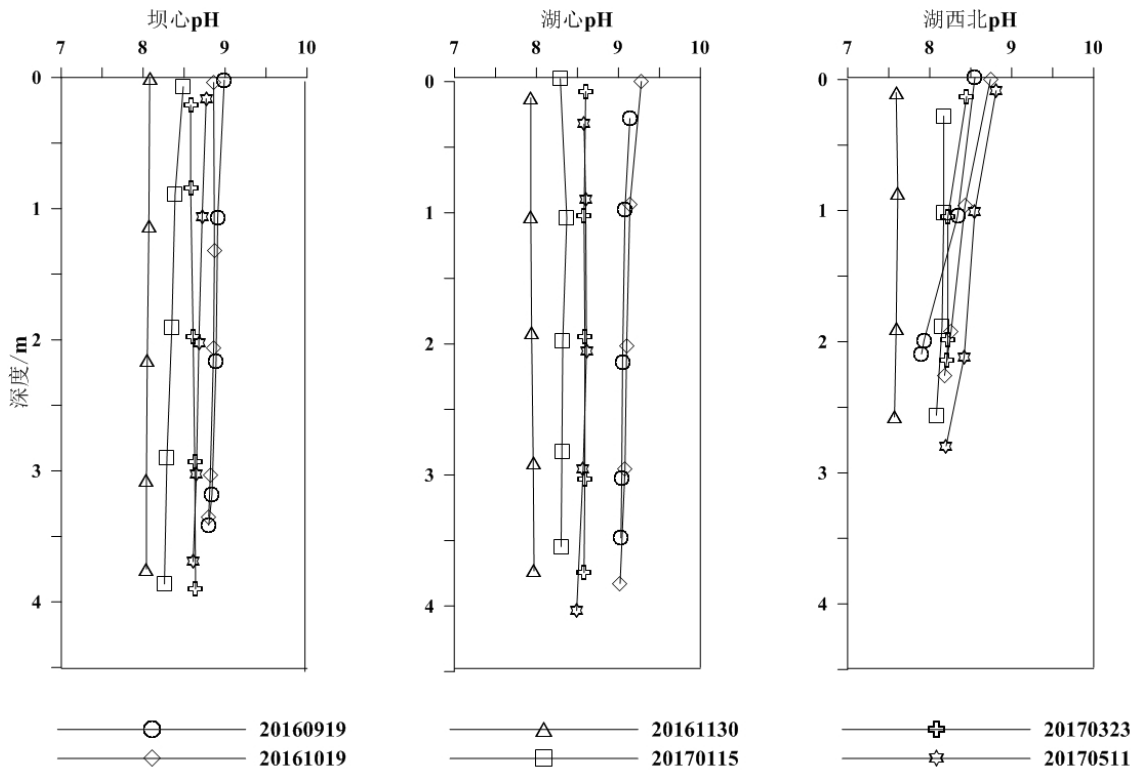


Figure 5. Vertical profile of pH in lake Yilong  
图 5. 异龙湖 pH 垂直分布图

Table 1. The water environmental evaluation criteria of TN, TP of lakes in China

表 1. 我国湖泊水环境质量评价标准(TN, TP) [18]

营养污染物	I	II	III	IV	V	劣 V
TN/(mg/L)	≤0.2	0.2~0.5	0.5~0.1	1.0~1.5	1.5~2.0	≥2.0
TP/(mg/L)	≤0.02	0.02~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	≥0.4

Table 2. The eutrophication evaluation criteria of TN, TP of lakes in China

表 2. 我国湖泊富营养的评价标准[19]

营养污染物	贫营养化	贫中营养化	中营养化	中富营养化	富营养化	超富营养化
TN/(mg/L)	≤0.04	0.04~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	≥2.0
TP/(mg/L)	≤0.002	0.002~0.025	0.025~0.05	0.05~0.1	0.1~0.2	≥0.2

**Table 3.** The change of TN, TP with the depth of the water in three points in October and November of 2016 and March and May of 2017**表 3.** 2016 年 10 月、11 月与 2017 年 3 月、5 月异龙湖 3 个测点 TN、TP 随水深的变化

坝心(测点编号-深度/m)		月份	1-0	1-1	1-2	1-3	1-4	平均值
TN (mg/L)	2016	10 月	3.05	3.33	3.11	3.33	/	3.20
		11 月	2.92	2.82	2.72	2.71	/	2.79
	2017	3 月	1.74	1.82	2.21	1.95	/	1.93
		5 月	2.34	2.59	2.43	2.35	/	2.43
TP (mg/L)	2016	10 月	0.15	0.15	0.14	0.15	/	0.15
		11 月	3.80	3.70	3.56	4.17	/	3.81
	2017	3 月	0.08	0.08	0.08	0.08	/	0.08
		5 月	0.06	0.07	0.06	0.06	/	0.06
湖心(测点编号-深度/m)			3-0	3-1	3-2	3-3	3-4	平均值
TN (mg/L)	2016	10 月	3.47	3.11	3.20	3.38	3.36	3.30
		11 月	2.65	2.73	2.64	2.68	2.75	2.69
	2017	3 月	1.74	1.68	1.61	1.71	1.41	1.63
		5 月	2.36	2.37	2.35	2.31	2.32	2.34
TP (mg/L)	2016	10 月	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13
		11 月	3.53	3.65	3.17	3.76	3.91	3.53
	2017	3 月	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
		5 月	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
湖西北(测点编号-深度/m)			5-0	5-1	5-2	5-3	5-4	平均值
TN (mg/L)	2016	10 月	1.60	1.76	1.56	/	/	1.64
		11 月	4.73	4.86	2.31	/	/	3.97
	2017	3 月	0.69	0.65	0.48	/	/	0.61
		5 月	0.95	1.14	1.12	/	/	1.07
TP (mg/L)	2016	10 月	0.17	0.16	0.15	/	/	0.16
		11 月	3.38	4.68	4.64	/	/	4.23
	2017	3 月	0.06	0.07	0.08	/	/	0.07
		5 月	0.05	0.06	0.06	/	/	0.06

注：坝心：23°39'27.8"N, 102°36'37.5"E；湖心：23°40'32.4"N, 102°33'55.5"E；湖西北：23°41'11.8"N, 102°31'06.2"E。

位置湖水水质大部分为劣 V 类，达到超富营养化水平；湖心(YL-3)与坝心位置类型一致也为劣 V；湖西北(YL-5)水质表现出明显的季节性分异，优劣程度为 3 月(中营养化) > 5 月(中富营养化) > 10 月(富营养化) > 11 月(超富营养化)；TP 平均浓度变化在 3 个湖区保持一致，由此可以得出异龙湖水体不同湖区水质差异主要是由于水中的 TN 的不同造成。

#### 4. 分析与讨论

富营养化是现如今诸多云贵高原浅水湖泊面临的主要问题之一，因所处位置与开发历史的不同受污



染的程度也存在差异。异龙湖作为重度污染与高营养负荷状态的湖泊,在 2008~2009 年间突然发生沉水植物大面积退化、蓝藻大规模爆发、叶绿素  $a$  浓度激增[20]等现象之后,污染程度和营养水平一直居高不下,已经由原先以水生植物为主的草型湖泊生态系统转换为以浮游植物为主的藻型生态系统。2010 年 7 月观察到异龙湖有淡水藻类 4 门 36 种,以蓝藻门、绿藻门、裸藻门、硅藻门为主,且藻类密度较高的是西北部,东部较低;大型水生植物只在湖西部发现大量湘荷和大片芦苇荡,基本没有其他水生植物[21]。叶绿素是水体中浮游植物的重要组成成分,而浮游藻类中含有叶绿素  $a$ ,因此用叶绿素  $a$  来衡量浮游藻类的现存量、光合作用及水质状况的指标[22],即叶绿素  $a$  浓度的高低变化可以反映水质的优劣亦常被作为评价水体富营养化状况的主导因子。而浮游藻类生长与水体中多种环境因子密切相关,例如:水温、DO、pH、氮、磷、光照强度和周期等,且藻类数量的变化是这些因子综合的结果。

湖泊水温随时间和空间不同而发生变化,其中主要是季节性变化和垂直变化。表层水温与湖面附近气温相似,垂直方向上(除受风力等外力作用影响以外)水温变化与湖泊本身深度有关。湖泊的水温状况不仅是认识湖水各种理化过程和动力现象的基础,是影响湖泊水生生物新陈代谢的重要因素,也是分析湖泊水质不可缺少的资料,湖泊水体的物理特性、化学反应、生物活动等都与水温有着密切关系[23]。例如水温是影响水中叶绿素  $a$  含量的重要因子,也是浮游藻类生长的关键因子[24] [25] [26]。适宜的水温有利于浮游藻类的生长,即在一定温度范围内,水温升高可促进藻类光合作用及水生生物的呼吸作用。溶解氧是指水中溶解的分子态氧,水中溶解氧的收入主要由于水生植物的光合作用,而水生植物好氧情况是 DO 的主要支出[27]。湖泊水体中 DO 会受到温度、藻类生长等因素的影响。pH 主要是受水中  $\text{CO}_2$  含量的影响,而  $\text{CO}_2$  又受到藻类光合作用、水生生物呼吸作用等因素的影响。

异龙湖坝心表现为 9 月、10 月和 5 月表层水温基本维持在  $22.94^\circ\text{C}\sim 25.25^\circ\text{C}$ ,平均水温都在  $20^\circ\text{C}$  以上,11 月、1 月和 3 月表层为  $15.83^\circ\text{C}\sim 20.29^\circ\text{C}$ ,平均水温为  $16^\circ\text{C}$  左右。空间上 3 个湖区各月份水温变化并不明显,较高水温为浮游藻类和水生植物提供了适宜良好的生存环境。通过对所监测的数据分析得到:坝心湖区 2016 年 9 月、10 月、11 月正值一年当中雨季后期,表层叶绿素  $a$  平均值呈现逐渐降低趋势,这可能是雨季大气降水与流域径流对叶绿素  $a$  浓度稀释作用;1 月是坝心湖区垂直剖面叶绿素浓度达到最大值时期,平均为  $66.04\ \mu\text{g/L}$ ,这可能是因为 1 月是枯水期,流域径流量少,加之此时水生植物都已经衰败,且温度较低新生植物还没有开始生根发芽。之后的 3 月和 5 月叶绿素含量又开始恢复到异龙湖湖体叶绿素浓度的平均值。此时各月份表层的溶解氧维持在  $5.33\sim 9.06\ \text{mg/L}$  之间,pH 的变化也很均一保持在 8 左右,垂直剖面上靠近湖底 DO 浓度递减。

湖心区表层叶绿素  $a$  浓度最低是 10 月,为  $2.1\ \mu\text{g/L}$ ,1 月时浓度达到最大值  $77.6\ \mu\text{g/L}$ ,之后开始降低。垂直剖面上表层与湖底叶绿素  $a$  相差最明显的是 10 月(湖底为  $13.2\ \mu\text{g/L}$ )。10 月溶解氧从表层的  $8.11\ \text{mg/L}$  降到湖底的  $5.69\ \text{mg/L}$ ,与叶绿素呈现相反的变化趋势;水温整体在  $20^\circ\text{C}$  以上,水中的  $\text{CO}_2$  分子运动速率加快,容易自水面逸出致使在水中溶解度降低,此刻在湖底溶解氧浓度是比较低的,原因主要有:一是 10 月为雨季末期,来自流域的入湖水量达到最大值,表层被入湖“新水”稀释逐渐沉降,在没有外力的作用下,湖底叶绿素  $a$  浓度增加;二是由于秋末湖心位置生长的少量植物开始逐渐的衰败,落在湖底时有机质开始分解消耗  $\text{O}_2$ 。湖心 pH 值 9 月和 10 月在 9 左右,1、3 和 5 月在 8 左右,pH 最低的是 11 月,保持在 7.9,此时叶绿素  $a$  为最大值,原因可能是 11 月水体中含有衰亡的藻类,这些有机藻类在生物化学氧化作用下被转化为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{HNO}_2$  和  $\text{HNO}_3$ ,导致 pH 降低。

值得关注的是湖西北各月份叶绿素  $a$  的变化情况,垂直剖面变化趋势是表层最低,随着水深增加浓度增高,且各月份大约在水深 1 m 左右时叶绿素  $a$  浓度发生突然升高的现象,可以认为叶绿素  $a$  发生了分层,原因一方面是在湖西北处有河流汇入(城河、城北河、城南河)且水质优于其他入湖的河流[20],对表

层叶绿素造成稀释；另一个方面大型水生植物湘莲的引入对水质起到改善作用[13]，大型水生植物能够通过多种机制维系湖泊水质，包括为浮游动物提供庇护、增加沉积物稳定性从而减少沉积物的再悬浮、与浮游植物竞争营养及释放克藻物质[20]等。因此可以得出水生植物对水体的净化作用是可行的，在未来对异龙湖的保护工作中可以实施生物工程，以达到净化水质的目的。在藻类丰富的水体中，溶解氧的浓度与植物的光合作用及水生生物呼吸作用有关。湖西北溶解氧的变化趋势相比较其他浅水湖泊来说，出现非常特殊的现象，即在9月表层DO为5.08 mg/L，水深1 m时为3.63 mg/L，到水深2 m时DO骤降为0.39 mg/L，形成缺氧环境。类似情况同样也发生在10月和5月，只是出现的水深存在差异。10月表层DO浓度为5.66 mg/L，随水深增加从1 m时为0.65 mg/L下降为湖底的0.37 mg/L，而5月表层为7.12 mg/L，属于高浓度，但到湖底时DO骤降为1.44 mg/L，同样是低氧或厌氧环境，异龙湖在水深1 m左右就出现分层且是低氧状态，这种现象是值得关注的。通过实地调查和文献收集，我们认为可能原因为：① 流域农田中的有机化肥的污染；② 湖底沉积的淤泥深厚；③ 流域内水资源贫乏，且汇入的水质较差，这些原因造成湖体藻类大量繁殖，从而影响DO的浓度。从监测数据分析得出湖西北部9月、10月、3月和5月pH基本维持在8左右，可能原因是湖西北是浮游藻类密度较高的，适宜的水温促进藻类的光合作用及水生生物的呼吸作用消耗CO<sub>2</sub>，从而使得表层pH较高；11月时秋末水生植物及藻类开始衰亡产生有机物质，在生物化学氧化作用下这些有机物质被转化，导致pH降低。

## 5. 结论

水质的实时监测是了解一个湖泊发育情况的基础工作，本文基于异龙湖不同湖区不同年份的水质参数数据，结合现代湖沼学对相关参数的解释并对水质参数进行分析，得出以下结论：

1) 异龙湖水体在湖西北部9月、10月水深1 m左右开始出现DO骤降现象，形成缺氧环境，且不同季节溶解氧降低的深度和幅度各不相同。目前认为是多种因素造成的，最主要的是湖泊湖底堆积的底泥中含有多种有机污染物氧化分解使得DO降低；

2) 通过对监测数据分析和实地考察，异龙湖湖西北水质优于坝心和湖心，可见水生植物对水质有很好的净化作用，但季节性河水注入无疑也使得水质和营养物质含量减少，这一点还需要长期检测以掌握其变化规律。虽然水生植物的恢复和数量增加可以起到水质净化的功效和观赏作用，但是其面积的急剧扩大是否长期有利于湖泊水质的提高和湖泊净化功能的恢复尚需进一步研究；

3) 异龙湖水体叶绿素a浓度存在明显的季节性，且这种季节性又因不同湖区而有所不同，其中坝心与湖心位置表现为1月浓度达到最大值，湖西北则是9月和10月为最大值，这种现象的出现与湖中水生植物的生长情况有直接关系。

4) 在所监测的月份中异龙湖pH值的变化并不明显，水体藻类的浓度及水体中有机污染物浓度对其有重要影响。

## 基金项目

云南省领军人才项目“云贵高原湖泊演化与水安全”(2015HA024)和高端人才引进项目“云南(云贵高原)湖泊记录与生态环境及可持续发展研究”(2010CI111)和国家自然科学基金(41361008)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-2.
- [2] 董云仙, 赵磊, 陈异晖, 等. 云南九大高原湖泊的演变与生态安全调控[J]. 生态经济, 2015, 31(1).
- [3] 张虎才. 滇池构造漏水隐患及水安全[J]. 地球科学进展, 2016, 31(8): 849-857, 1001-8166.

- [4] 秦洁, 吴献花, 高卫国. 杞麓湖富营养化控制因子研究[J]. 玉溪师范学院学报, 2010, 26(12): 26-30.
- [5] 李沈丽. 异龙湖流域生态环境的综合治理[J]. 林业调查规划, 2009, 34(2): 108-110.
- [6] 刘晓海, 宁平, 张军莉, 等. 围湖造田和退耕还湖对异龙湖的影响[J]. 昆明理工大学(理工版), 2006, 31(5): 78-81.
- [7] 崔保山, 翟红娟. 高原湿地功能退化的表征及其恢复中的生态需水量[J]. 科学通报, 2006, 51(z2): 106-113.
- [8] 李晓杰. 石屏县异龙湖渔业产业发展现状及对策[J]. 现代农业科技, 2014(3): 328-333.
- [9] 王忠泽. 云南省异龙湖藻类植物及鱼产力研究[J]. 水产学报, 1997, 21(1): 93-96.
- [10] 刘培, 常凤琴, 吴红宝. 异龙湖流域湿地生态系统健康评价[J]. 湿地科学与管理, 2016, 12(2): 30-34.
- [11] 翟红娟, 崔保山, 王英. 异龙湖湿地功能可持续性评价及 PSR 模型时滞性研究[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2): 243-252.
- [12] 陈思思. 异龙湖湖泊沉积对流域气候及人类活动的响应[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南师范大学, 2015.
- [13] 师丽琴, 孙琴音. 浅析水生植物在异龙湖水体净化中的作用[J]. 云南环境科学, 2005, 24(3): 40-42.
- [14] 卡尔夫(加). 湖沼学: 内陆水生态系统[M]. 古滨河, 等, 译. 北京: 高等教育出版社, 2011: 206-253.
- [15] O'Reilly, C.M., Alin, S.R., Plisnier, P.D., et al. (2003) Climate Change Decreases Aquatic Ecosystem Productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, 424, 766-768. <https://doi.org/10.1038/nature01833>
- [16] 马玉琴. 环境监测[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1998: 11-13.
- [17] 刘春光, 金相灿, 孙凌, 等. pH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 294-298.
- [18] 国家环境保护局, 国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [19] 殷福才. 巢湖富营养化的评价与控制对策研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 68.
- [20] 赵磊. 云南异龙湖生态系统稳态转换过程与关键灾变因子反演研究[D]: [博士论文]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2013.
- [21] 魏翔, 唐光明. 异龙湖近 20 年来营养盐与水生生态系统变化[J]. 环境科学导刊, 2014, 33(2): 9-14.
- [22] 文新宇, 张虎才, 常凤琴, 等. 泸沽湖水体垂直断面季节性分层[J]. 地球科学进展, 2016, 31(8): 858-869.
- [23] 赵林林, 朱广伟, 陈元芳, 等. 太湖水体水温垂向分层特征及其影响因素[J]. 水科学进展, 2011, 22(6): 844-850.
- [24] 阮晓红, 石晓丹, 赵振华, 等. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 a 与环境因子的相关关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(5): 556-562.
- [25] 吴阿娜, 朱梦杰, 汤琳, 等. 淀山湖蓝藻水华高发期叶绿素 a 动态及相关环境因子分析[J]. 湖泊科学, 2011, 23(1): 67-72.
- [26] 缪灿, 李莹, 余冠军. 巢湖夏、秋季浮游植物叶绿素 a 及蓝藻水华影响因素分析[J]. 生物学杂志, 2011, 28(2): 54-57.
- [27] 黄岁樑, 臧常娟, 杜胜蓝, 等. pH、溶解氧、叶绿素 a 之间相关性研究: 养殖水体[J]. 环境工程学报, 2011, 5(6): 1201-1208.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[gser@hanspub.org](mailto:gser@hanspub.org)