

# 盘龙江青萍的磷污染指示性研究

兰丹, 苏怀\*, 常玉兰, 李福姍, 张亚楠, 赵宏兵 (云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南昆明 650500)

**摘要** [目的]判断青萍是否可以作为盘龙江磷污染的指示性生物。[方法]以青萍作为研究对象,研究青萍对磷的耐受程度,分实验室培养和野外调查。[结果]实验室培养条件下,青萍可以在磷浓度0.1~15.0 mg/L的培养液中正常生长。野外调查盘龙江各采样点磷浓度(0.07~0.47 mg/L)的青萍分布情况:上游河段没有出现,中游河段有出现,下游河段多度增加。[结论]青萍至少可以指示2类水以上的水质,有青萍出现的水体已经受到磷污染。

**关键词** 青萍;磷质量浓度;鲜重;指示性物种;野外调查

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)19-053-04

## Lemna Minor Indicative of Phosphorus Pollution in Panlong River

LAN Dan, SU Huai\*, CHANG Yu-lan et al (School of Tourism and Geographical Science, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500)

**Abstract** [Objective] To study the lemna minor indicative of phosphorus pollution in Panlong River. [Methods] Laboratory cultivation and field survey were carried. [Results] In laboratory cultivation condition; lemna minor can grow normally in culture solution with phosphorus concentration of 0.1 mg/L to 15 mg/L. In field survey condition, the phosphorus concentration at each sampling point in Panlong River was 0.07 mg/L to 0.47 mg/L. Distribution of lemna minor: no distribution in upper reaches, slight distribution in middle reaches, more abundance in low reaches. [Conclusion] Lemna minor can indicate the water quality above grade II, and water with appearance of lemna minor indicates phosphorus pollution.

**Key words** Lemna minor; Phosphorus concentration; Fresh weight; Indicative species; Field survey

随着人口的不断增长及工农业的迅速发展,滇池水体富营养化十分严重<sup>[1]</sup>。研究表明,磷是富营养化重要的污染因子<sup>[2]</sup>,对磷污染的监测是滇池污染治理的基础。盘龙江是汇入滇池的主要河流之一,对其水环境的有效监测和及时治理有利于减轻滇池的富营养化程度。

水环境监测方法主要包括化学监测、物理监测、生物监测3种。其中,物理监测和化学监测费时、设备昂贵,缺乏时空连续性和直观性,不能有效反映长期状况或平均状况。生物监测是利用群落、种群或生物个体对环境变化所产生的反应,通过生物学的方法来监测、评价环境质量及其变化,具有直观、灵敏度高、费用低、能够综合持续反映水质变化等优点。通过生物监测,能快速地判断出环境质量的平均状况,发现一般化学监测或理化监测所发现不了的环境问题<sup>[3]</sup>。

水生生物与水环境关系非常紧密,生物长势的变化可以作为水环境变化的指标<sup>[4]</sup>。目前,藻类群落评价自然水域水质的方法已被广泛应用,比如北京怀沙河、怀九河<sup>[5]</sup>,上海丽娃河<sup>[6]</sup>,黄河兰州段<sup>[7]</sup>,贵州省锦江、红枫湖、黔灵湖、虹山水库、草海等水域<sup>[8-9]</sup>,广西省桂林市桂湖<sup>[10]</sup>,四川省赤城湖水域<sup>[11]</sup>,山东省济南地区的黑虎泉、趵突泉、珍珠泉、五龙潭泉和东平湖<sup>[12-13]</sup>,广东省广州市古廖涌河道<sup>[14]</sup>。通过利用藻类的环境指示作用,对以上水域的总体水质情况进行长期监测,均收到了较好的效果。经查阅资料,笔者发现这项工作滇池流域中做得还不足,也没有将青萍作为指示性生物来监测水质变化的研究。以浮萍优势品种青萍(*Lemna minor*)作为研究对象,研究青萍对磷的耐受程度,以此来判断它是

否可以作为滇池流域盘龙江河道磷的指示性生物。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 试验材料。**供试青萍于2015年3月16日采自云南省昆明市滇池流域盘龙江河道,取回的青萍在云南师范大学旅游与地理科学学院实验室内进行培养。首先,用清水清洗去掉杂质,然后筛选出长势良好的青萍,接着用2%次氯酸钠溶液清洗,去除附着在青萍上的细菌、藻类和其他微生物后备用<sup>[15]</sup>。

**1.1.2 植物培养液的配制。**由于浮萍生长主要是吸收利用水中的无机氮磷等,故笔者利用人工培养液来模拟富含无机氮磷等营养物质的废水。供试培养液为改良版Hoagland营养液,配方见表1。

表1 供试Hoagland营养液配方

Table 1 The formula for Hoagland's E-Medium culture

营养盐 Culture solution	营养液浓度 Concentration of culture solution mg/L	贮备液浓度 Stock solution concentration g/L	培养液用量 Culture solution demand//mL/L
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	543.000	108.600	5.0
KNO <sub>3</sub>	251.000	50.200	5.0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.000	27.200	5.0
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246.000	49.200	5.0
Na <sub>2</sub> EDTA	30.000	6.000	5.0
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	9.920	1.984	5.0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.430	2.860	0.5
MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.930	1.860	0.5
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.110	0.220	0.5
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.045	0.090	0.5

在配制储备液时,将每种盐类分别溶解,再将它们混合以免发生沉淀,置冰箱中保存。铁盐储备液保存于棕色玻璃瓶中。

**基金项目** 云南师范大学大学生科研训练项目(ky2014-175)。

**作者简介** 兰丹(1994-),女,四川宜宾人,本科生,专业:地理科学。

\*通讯作者,副教授,硕士生导师,从事环境变化与区域管理研究。

**收稿日期** 2016-05-20

## 1.2 方法

**1.2.1 试验操作。**试验前将青萍进行7 d的磷饥饿培养,培养所用的营养液为缺磷改良的1/10倍的Hoagland营养液(将营养液中所含的0.5 mg/L的 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 替换为0.5 mg/L的KCl)。

试验于2015年3月24日开始,试验培养时间为21 d。营养液(除了没有 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 外,其他成分与表1中的配方一致)配好后,使用0.1 mol/L KOH或0.1 mol/L HCl溶液调节培养液pH到6.5左右。培养液中磷质量浓度设计为0.1、1.5、3.0、15.0、46.0 mg/L。选用250 mL玻璃烧杯(直径7 cm、高10 cm)作为试验容器,用黑色胶布缠绕外杯壁以避免光,在5个杯中装入200 mL Hoagland营养液。

用滤水网斗将待测青萍从漂洗的蒸馏水中捞起,滤去自由水(无水滴出现),将待测青萍平铺放置在吸水纸上,吸水5 min后,采用镊子从浮萍个体下方向上挑进行移取,保证浮萍个体的生长状态不受影响。再用精度为0.01 g的电子天平测定其鲜重<sup>[16]</sup>。分别在5个不同浓度培养液的玻璃杯中放入长势良好、质量相当的40片青萍,鲜重为0.4 g。所有青萍都置于室内自然光线均匀一致处培养观察,试验期间每隔3 d更换1次营养液。

**1.2.2 测定项目及方法。**

**1.2.2.1 生物量。**在试验结束后进行生物量(以鲜质量计)的测定,用滤水网斗将需要测定的浮萍从培养液中捞起,滤去自由水(无水滴出现),将待测浮萍平铺放置在吸水的纸垫上,吸水5 min后,用精度为0.01 g的电子天平进行测定,并记录不同浓度培养液下浮萍的鲜重(Fresh weight, FW)。青萍的生物量变化以相对生长量(Relative Growth Yield, RGY)表示: $\text{RGY} = (W_2 - W_1) / W_1$ <sup>[17]</sup>。式中, $W_2$ 为试验结束时所测的青萍鲜重(g); $W_1$ 为试验开始时所放入的青萍鲜重(g)。

**1.2.2.2 根长。**经测量,放入前40片青萍的平均根长约为28 mm,试验结束后用直尺测量不同浓度下的青萍根长。

**1.2.2.3 成活率。**放入前的青萍数量为40片,在试验结束后观察记录在不同浓度下青萍的成活数。成活率 = 成活的数量 ÷ 总数量 × 100%。

**1.2.3 统计分析。**试验结果以平均值表示,利用Excel软件建立青萍在不同浓度下与其鲜重、相对生长量及根长变化的关系。

## 1.3 野外采样点的确定及总磷(TP)含量的测定

**1.3.1 野外采样点的确定。**研究主要对松华坝以下盘龙江河段的部分水生植物的种类、分布进行调查,沿盘龙江采集植物,并对其进行鉴定,得出部分植物名录。再根据典型取样的方法,从上游松华坝出水口至滇池入湖口分别设置调查,即龙川桥、大花桥、金水湾小区、罗丈村闸、第五污水处理厂、二环北路、南太桥、永平桥、二环南路、日新路、广福路、第二污水处理厂、苏家地、洪家村入湖口总共14个(图1)。

**1.3.2 各采样点总磷(TP)含量的测定。**采用钼锑抗分光光度法。该方法最低检出浓度为0.01 mg/L(吸光度 $A = 0.01$ 时所对应的浓度);测定上限为0.60 mg/L。可适用于



图1 盘龙江河段采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling points in Panglong River

测定地表水、生活污水及化工、磷肥、有机加工金属表面磷化处理、农药、钢铁、焦化等行业的工业废水中的正磷酸盐分析。

## 2 结果与分析

**2.1 青萍对磷的耐受性** 试验以所测青萍鲜重、根长、成活率来判断不同磷浓度条件下该指示性生物的长势状况,并建立水体不同磷浓度与青萍的长势关系。

**2.1.1 不同质量浓度磷对青萍鲜重的影响(图2)。**通过该研究可以看出,青萍可以生长在磷质量浓度范围很广的水体环境中,在磷浓度为0.1~15.0 mg/L时青萍的能正常生长,尤其是在3.0 mg/L的情况下,青萍长势最佳、鲜重最重;在磷浓度小于0.1 mg/L时青萍的鲜重发生的变化较小。磷质量浓度为46.0 mg/L时,确实由于磷质量浓度过高而对青萍造成了环境胁迫,抑制了青萍的生长,鲜重变化也较小。中国的大型湖泊和许多河流大部分发生了严重的富营养化,磷质量浓度超过0.2 mg/L的大型湖泊占48%<sup>[18]</sup>。而云南省昆明市滇池流域的盘龙江也属于富营养化较严重的河流,又是汇入滇池的主要干流,故要治理滇池必先对盘龙江进行监测。

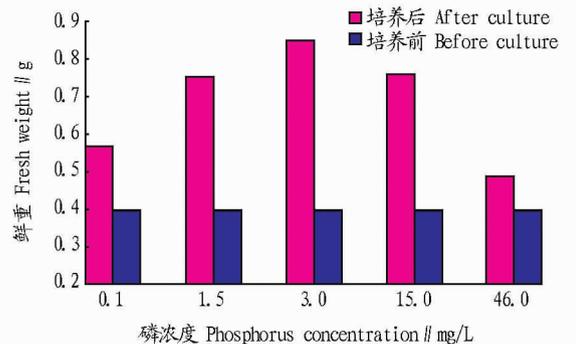


图2 不同质量浓度磷对青萍鲜重的影响

Fig. 2 Effect of phosphorus mass concentration on fresh weight of Lemna minor

**2.1.2 不同质量浓度磷对青萍根长度的影响(图3)。**根长随培养液中磷质量浓度的不同,表现出了十分明显的变化。在1.5~15.0 mg/L的生长环境中磷营养水平越低的条件

下,青萍的根越长。

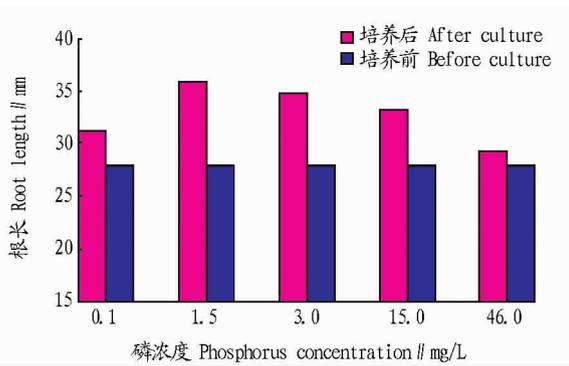


图3 不同质量浓度磷对青萍根长的影响

Fig.3 Effect of phosphorus mass concentration on root length of Lemna minor

2.1.3 不同质量浓度磷下青萍的成活率(表2)。高浓度磷酸盐会抑制青萍的生长,磷浓度达到 46.0 mg/L 时,青萍叶片变黄,根部变腐,有些植株已经死亡。

表2 不同质量浓度磷对青萍成活率的影响

Table 2 The survival rate of Lemna minor under different phosphorus mass concentration

浓度 Concentration mg/L	总株数 Total number of plants	剩余存活株数 Remaining plants survived	成活率 Survival rate/%
0.1	40	40	100
1.5	40	40	100
3.0	40	40	100
15.0	40	40	100
46.0	40	36	90

2.1.4 不同质量浓度磷对青萍相对生长量的影响(图4)。当环境中磷浓度水平在 0.1 mg/L 时,不同初始磷浓度水平对青萍生长的影响不大。在 1.5 ~ 3.0 mg/L 范围内随着初始磷浓度的增大,青萍 RGY 有增加;当环境中磷浓度水平达到 46.0 mg/L 时,随着初始磷浓度的继续增大,青萍的 RGY 急剧下降。初始磷浓度为 3.0 mg/L 的处理,在培养 21 d 后,生物量由最初的 0.40 g 增加到 0.85 g,相对生长量为 1.125 g;初始磷浓度为 46.0 mg/L 的处理,生物量增加量最低,仅为 0.225 g。在磷浓度为 0.1 mg/L 时,生物量变化不是十分明显,由 0.40 g 增加为 0.57 g,相对生长量为 0.425 g;在磷浓度为 1.5 和 15.0 mg/L 时的鲜重分别增加为 0.75 和 0.76 g,相对生长量为 0.875 和 0.900 g。

2.2 盘龙江各采样点磷浓度 由表3可知,盘龙江水体的总磷浓度在 0.07 ~ 0.47 mg/L。

2.3 盘龙江优势水生植物的分布状况 对上述的 14 个采样点的水生植物进行采集,收割时将植株连根拔起,然后洗净、去除残枝和其他杂质,分别称取各种植物植株的鲜重,计算出各植株占总重量的大小得到多度,并将优势度最高种类确定为该群落的优势种。对于物种较为单一的河段,我们可直接通过观察来确定优势种。

多度:总量设为 50;A:15 以上;B:11 ~ 14;C:6 ~ 10;D:

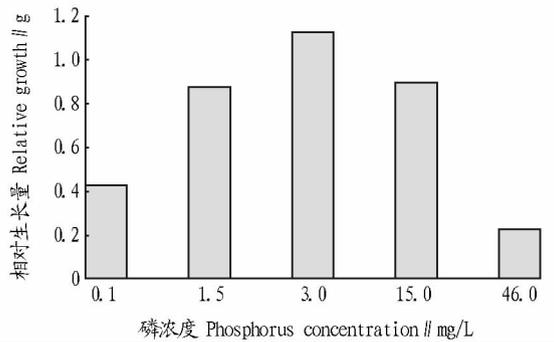


图4 不同质量浓度磷对青萍相对生长量的影响

Fig.4 Effect of phosphorus mass concentration on relative growth of Lemna minor

1 ~ 5;E:小于 1。

表3 盘龙江各采样点总磷浓度

Table 3 Total phosphorus (TP) concentration of each sampling point in Panlong River

采样点 Sampling point	TP mg/L	采样点 Sampling point	TP mg/L
龙川桥 Longchuan Bridge	0.08	永平桥 Yongping Bridge	0.09
大花桥 Dahua Bridge	0.07	二环南路 South Second Ring Road	0.11
金水湾小区 Jinshuiwan Community	0.07	日新路 Rixin Road	0.13
罗丈村闸 Luozhang Vil- lage Dam	0.08	广福路 Guangfu Road	0.13
第五污水处理厂 No. 5 Sewage Treatment Plant	0.10	第二污水处理厂 No. 2 Sewage Treatment Plant	0.13
二环北路 North Second Ring Road	0.11	苏家地 Sujiadi	0.14
南太桥 Nantai Bridge	0.09	洪家村入湖口 Lake in- let in Hongjia Village	0.47

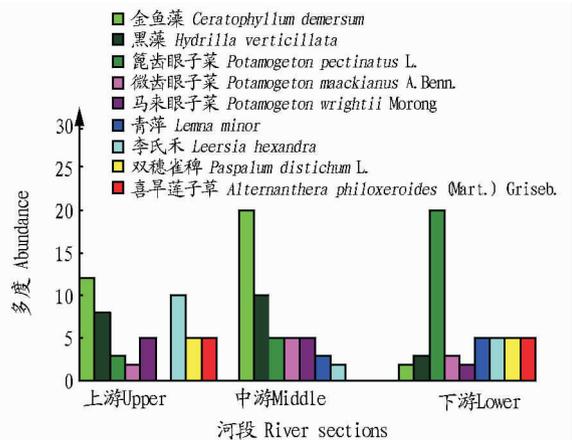


图5 盘龙江优势水生植物分布

Fig.5 Distribution of dominant hydrophyte in Panlong River

由图5可见,青萍在上游河段没有出现,多度为 E:0;在中游河段有出现,多度为 D:3;在下游河段多度增加,为 D:5。

### 3 结论与讨论

(1)青萍可以在磷浓度为 0.1 ~ 15.0 mg/L 的水体中均可正常生长。青萍生长的最适磷浓度为 3.0 mg/L,在这个浓度下青萍长势最佳;但当磷达到 46.0 mg/L 的高浓度时,青

萍生长受到抑制,叶片枯萎变黄,根部开始变腐脱落。根据室内培养以及野外调查的对比结果显示:青萍可以在高磷浓度的水体中生长,且长势较好。

(2)由青萍的磷耐受性研究可知,当培养液中磷浓度为0.1~15.0 mg/L时青萍均可正常生长。当培养液中磷浓度接近3.0 mg/L时,青萍的鲜重和相对生长量最大。当磷浓度达到46.0 mg/L时,青萍的生长受到抑制。根据盘龙江各个采样点的总磷浓度(0.07~0.47 mg/L)以及盘龙江优势水生植物的分布状况可知,青萍在上游河段没有出现,多度为E:0,总磷浓度<0.1 mg/L;在中游河段有出现,多度为D:3,总磷浓度在0.1 mg/L左右;在下游河段多度增加,为D:5,总磷浓度>0.1 mg/L。由野外调查结果对照实验室培养结果可知:在水体总磷浓度低于0.1 mg/L的时候,青萍的数量比较少;在水体总磷浓度大于0.1 mg/L时,青萍的数量明显增加,且呈现递增趋势。由上述可推测,青萍可以作为盘龙江磷污染的指示性水生植物,有青萍出现的水体已经受到磷污染。

表4 不同年份滇池草海、外海历年 TP 含量 mg/L

Table 4 TP content in Caohai of Dianchi Lake in 1982-2000

年份 Year	TP 含量 TP content	
	草海 Caohai	外海 Waihai
1982	0.242	0.088
1990	0.500	0.110
1995	0.575	0.190
1997	0.910	0.220
1998	0.550	0.293
1999	0.610	0.331
2000	1.060	0.260

表5 中国水环境保护标准目录(部分)

Table 5 China's water environment protection standard directory( selective) mg/L

分类 Class	总磷(以 P 计) TP (as per P)	分类 Class	总磷(以 P 计) TP (as per P)
I	0.02 (湖、库 0.01)	IV	0.3 (湖、库 0.01)
II	0.10 (湖、库 0.01)	V	0.4 (湖、库 0.01)
III	0.20 (湖、库 0.01)		

(上接第 49 页)

**3.4 强化认证管理,培育市场信心** 在有机水产品认证过程中,必须严格遵守认证程序和标准,政府相关职能部门应依法加强对有机产品获证企业的监管,加强对流通领域有机产品认证证书、认证标志使用行为的监督。针对鲜活有机水产品的特点,创新监管方法,加强全过程监管,保护消费者合法权益,增强市场信心。

#### 参考文献

[1] 卢东,席运官,肖兴基,等. 中国水产品质量安全与有机水产养殖探讨[J]. 中国人口·资源与环境,2005,15(2):85-88.  
[2] 马文娟. 中国与欧盟有机产品标准及认证认可制度的比较研究:以 IF-OAM 基本标准为平台[D]. 南京:南京农业大学,2011.

根据研究结果并对照历年来滇池水体的 TP 含量(表 4)<sup>[19]</sup> 和中国水环境保护标准目录(表 5),推测出青萍可以用于对水体磷污染的指示,青萍至少可以指示 II 类水以上的水质,有青萍出现的水体已经受到磷污染。

#### 参考文献

[1] 刘鸿亮,金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2 版. 北京:中国环境科学出版社,1990:1-4.  
[2] 高海鹰,刘韬,丁士明,等. 滇池沉积物有机磷形态分级特征[J]. 生态环境,2008,17(6):2137-2140.  
[3] 赵怡冰,许武德,郭宇欣. 生物的指示作用与水环境[J]. 水资源保护,2002,2(3):14-15.  
[4] 冯天翼,宋超,陈家长. 水生藻类的环境指示作用[J]. 中国农学通报,2011,27(32):257-265.  
[5] 张茹春,赵建成,曹珍. 北京怀沙河、怀九河污染指示藻类水质评价[J]. 安徽农业科学,2007,35(35):11593-11595.  
[6] 胡虹波,顾泳洁,李明. 丽娃河水体富营养化与浮游藻类的指示关系[J]. 物学杂志,2005,22(2):32-35.  
[7] 马正学,宋玉珍,杨茂盛. 黄坛州段的藻类群落用于水质评价的研究[J]. 甘肃科学学报,1996,8(1):79-83.  
[8] 何历水,田海波,高健强,等. 锦江水污染监测的藻类初步研究[J]. 铜仁学院学报,2007,1(6):92-99.  
[9] 蔡京兰,熊源新. 贵州水体常见污染指示藻类[J]. 贵州科学,1996,14(2):3-5.  
[10] 廖祖荷,周振明,康彩艳,等. 应用浮游藻类评价桂湖水质的研究[J]. 自然科学学报,2005,28(4):70-75.  
[11] 李仁全,王书明,孙敏. 赤城湖指示藻类的组成及物种多样性指数分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(2):773-776,782.  
[12] 辛益群,史强,谢树莲,等. 济南泉溪藻类及水质评价[J]. 植物研究,2004,24(4):509-512.  
[13] 郭沛涌,林育嘉,李玉仙,等. 东平湖浮游植物与水质评价[J]. 海洋湖沼通报,1997,42(4):37-42.  
[14] 李开明,谢丹平,陈晓宏,等. 广州古廖涌生物修复的指示藻类[J]. 中山大学学报,2009,48(1):76-81.  
[15] FREDERIC M, SAMIR L, LOUISE M, et al. Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (*Lemna minor*) growth under controlled eutrophication[J]. Water research,2006,40(15):2901-2910.  
[16] 刘杰,黄辉,赵浩,等. 浮萍生长及其除磷效率的影响因素的研究[J]. 环境污染与防治,2007,29(7):521-524.  
[17] 邱念伟,马宗琪,王凤德,等. 一种测定植物相对生长量的方法[J]. 山东环境科学,2007,20(2):24-28.  
[18] CHENG J, LIU B. Nitrification denitrification in intermittent an aeration process for swine wastewater treatment[J]. Journal of environmental engineering,2001,127(8):705-711.  
[19] 吴春艳. 滇池水体磷污染的研究及其控制方法初探[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2003.  
[3] FIBL, IFOAM. The world of organic agriculture - statistics & emerging trends 2014[M]. Nuremberg: BioFach Congress, 2014.  
[4] 张纪兵,胡云峰,解卫华,等. 关于新形势下中国有机产品发展的探讨[J]. 农业科技管理,2012,31(6):1-3,44.  
[5] GEORGAKOPOULOS G, THOMSON I. Organic salmon farming: Risk perceptions, decision heuristics and the absence of environmental accounting[J]. Accounting forum, 2005, 29: 49-75.  
[6] PELLETIER N, TYEDMERS P. Feeding farmed salmon: Is organic better? [J]. Aquaculture, 2007, 272: 399-416.  
[7] 2008 年全国水利发展统计公报[R]. 2008.  
[8] 韩博平. 中国水库生态学研究的回顾与展望[J]. 湖泊科学, 2010, 22(2): 151-160.  
[9] 黄德祥,张继凯. 论水域的渔业污染与自净[J]. 重庆水产, 2003(4): 29-32.  
[10] 刘其根,王钰博,陈立侨,等. 保水渔业对千岛湖食物网结构及其相互作用的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2774-2783.