**楚雄市青山湖水库水环境动态研究**

**卫鸿浩** **王学良****※** **杨庆 毕琼**

（楚雄师范学院 地理科学与旅游管理学院，云南楚雄 675000）

摘要:楚雄市青山湖水库作为楚雄市重要的水源地之一，水库水质的优劣与楚雄市人民生命健康和社会生产息息相关。在对2017-2019年楚雄青山湖水库水环境因子调查的基础上，运用单因子评价法分析水库水环境状况的时空格局变化状态。结果表明，青山湖水库的首要污染物为总氮、总磷 。总氮的含量低于V类水水平，总磷含量低于IV类水水平，其余水质检测指标未超过国家制定的《地表水环境质量标准》中III类水的标准。空间上，青山湖水库大坝区域有低量的氮磷营养盐材料显示，主要受到上游污染输入的影响，后随污染物的不断消耗而有所下降，但到了青山湖水库坝下，由于人口村落较为密集经济发展程度水平较高，新的污染物重新汇入水库水体中，青山湖水库的污染再次加重。时间上，青山湖水库总氮总磷等营养元素含量呈现出螺旋上升趋势，2018年之后下降，青山湖水库在2019年2月之后总氮呈现下降趋势。本研究表明青山湖水库氮磷污染严重，呈逐年恶化趋势，受上游污染及斗阁村外源输入的影响，坝尾区域呈现除总氮外的水环境因子呈上升趋势。正确认识和评价楚雄市青山湖水库的水环境状况，为楚雄市青山湖水库的水质管理提供科学的建议。

关键词:楚雄青山湖 水环境动态 时空格局 研究

**1 青山湖水库现状分析**

1.1青山湖水库基本概况

楚雄市地势西北高东南低，从西北向南倾斜，属北亚热带冬干夏湿气候区，干湿季分明，雨热同期，日照充足，平均气温16.7。。楚雄境内有红河、金沙江两大水系。青山湖水库位于楚雄经济开发区北侧，介于冬瓜镇和吕合镇之间，距楚雄城区14.5km，水库风景区面积约44km2，其中水域面积约7km2。水库建于金沙江一级支流龙川江干流上，总库容1.08亿m3，控制径流面积1228km2[1]。水库建成后，楚雄城市防洪标准可由当前的30年一遇变为到50年一遇，保护人口26.42万人，下游河段两岸农田的防洪标准由不到5年一遇提高到10年一遇，龙川江枯季断流时间将大为减少，这对促进彝州工农业发展、生态环境改善、和谐社会建设具有十分重要的意义。水库关键工程由拦河主坝、副坝、输水隧洞、溢洪道、导流泄洪隧洞构成。主坝为粘土心墙石碴坝，坝高41.5m，坝顶长449.22m，副坝高9.5m，坝顶长159.5m；溢洪道设于大坝右岸，为开敞式闸门控制，进口设二道闸门，净宽20m，溢洪道全长678.64m，设计下泄流量388.2m3/s；导流泄洪隧洞布设于大坝右岸，为钢筋混凝土衬砌城门型无压隧洞，4.5×6.8m城门形断面，洞长148.0m，加出口段明渠全长515.87m，设计流量300.8m3/s，是集防洪、灌溉、城市工业供水功能为一体的大型水利枢纽。

1.2青山湖水库流域水文特性分析

楚雄市青山湖流域地处横断山脉与云贵高原的过渡地带，流域内大部分属中山山原地貌，中上游流域山高陡坡，河床切割深，地形起伏大，下游地势起伏较缓，为盆地地形。

1.2.1降水 青山湖水库流域年内降水相对集中，但年际降水变化较大，多年平均降水量为921.1mm，其中6-10月份为汛期，降水量较大，能够达到798.2mm，占全年降水量比值高达86.7%。青山湖流域年际间降水量差异较大，最小年降水量仅为587.2mm，最大年降水量则高达 1310.0mm。

1.2.2径流 青山湖流域径流主要来源于降水补给和龙川江河流补给，降水变化直接影响径流变化。

1.2.3含沙量 青山湖水库流域地区多年平均入库径流量为1.61亿立方米，径流年际变化大，年内分配不均，汛期6-10月，径流占全年总径流量80%以上，青山湖水库坝址悬疑质泥沙多年平均输沙量为34.6万吨，推移质泥沙量年平均输沙量为5.19t，多年平均输沙量为39.8万吨，多年平均含沙量是1.67kg/m3。

**2水库调查材料与方法**

2.1 采集样点的分布

青山湖水库形状呈现出条带状分布特征，可按照中小型湖泊与水库的取样点位置的布设原则，青山湖水库平均水深小于10m，因此将取样点设在水面下0.5m处，距库底不小于0.5m；取样方式：水深小于10m，每一个取样位置取两个水样。在青山湖水库首、库中和库尾各设置2 个取样点，在每个采样点水下0.5m处采集水质样本，其中对何家庄、斗阁村2个断面每月采样1次，在分析中用于水质时间变化分析；上云村、象房村、杨家咀和龙江村等四个断面每2个月采样一次，结合云南省控断面数据，主要进行水质空间变化分析，监测指标包括水体透明度、总氮、总磷等。

2.2样品采集及数据处理

2017年-2019年，每月18日前后在各样点下湖采集水体样本，样品采自水体表层0.5m。现场用赛氏黑白盘测定透明度。水体样本带回实验室后分析总氮、总磷、高锰酸盐指数、溶解氧等指数。监测分析方法分别按照《湖泊生态系统观测方法》[2]、水质评价《地表水环境质量标准》进行。

2.3测定方法

溶解氧以AR8010多参数溶解氧仪器进行测定，总氮、总磷、高锰酸盐指数参照国家制定的《水和废水监测分析方法》进行测定[3]。

**3结果与分析**

3.1青山湖水库水环境总体情况比较

以2017年-2019年青山湖水库水环境因子数据为基础，分析了水库各因子的平均状况，2017年-2019，总氮低于V类水平，高于2.8mg/L。总磷含量为IV类。在2019年之前坝首坝尾两处总磷含量几乎没有差异，但自从2019年开始，坝首总磷含量迅速升高，浓度范围介于0.15-0.23mg/L之间,而相应时间内青山湖水库坝尾总磷浓度值略低于坝首，在0.06-0.2mg/L的范围内波动[4]。

高锰酸盐指数在2019年以前达到II类水质标准，在2019年之后达到III类水质标准、溶解氧含量达到I类水质标准，坝首坝尾高锰酸盐指数和溶解氧的年平均含量在两地之间的差异不明显 。

3.2青山湖水库各样点水环境因子的季节变化格局

依据2017年-2019年青山湖水库各分布样点的水质状况数据，分析各样点水质因素的时空演变特征。

3.2.1总磷的季节变化特征

经过计算，2017年-2019年青山湖水库总磷含量月变化幅度强烈，特别是在调查流域上游所设采样点的断面处，总磷含量的变化区间由0.031（2017年6月）到0.33mg/L（2017年10月）之间变化，总磷含量平均值达到0.18mg/L,到了库体之后，水体含磷浓度则出现了较大程度的下降，斗阁村处断面2年平均值为0.010mg/L，库区大坝前断面总磷含量则降至0.009mg/L，这均已属于地表水I类水浓度范围。青山湖水库总磷含量相对较低，各样点变化规律在时间尺度上不一致，但总体上总磷含量成上升趋势，一直保持在III类和IV类水水质的水平。

为进一步分析所设断面区域总磷含量的波动因素，分析受降雨因素的相关程度。实验表明，水库区域降雨峰值之后，同月，上云村区域所设断面水体的总磷含量也随之达到峰值。例2018年3月的总磷峰值与降雨量峰值同步。龙江村、象房村等区域所设断面总磷含量监测情况略有不同，是由于二者远离入库区，受外在颗粒物影响较小。

尽管所设断面区域总体上时间点的总磷含量峰值较为接近，如2018年6月的总磷含量浓度峰值一致，低谷时期也相似，但仍有非常典型的较多不吻合的地方。如2018年9月，在所设断面斗阁村区域有非常明显的峰值，但实验数据表明，接下来时间点总磷含量不明显。除此之外，2019年坝尾区域整体上的总磷含量相对保持着较低的水平，除3月略有波动为0.009mg/L之外，其余月份基本维持着0.005mg/L上下。这个数据表明，对于青山湖水库的上游区域而言，总磷含量的陡然增加与外源降雨输入有着十分密切的联系，但对庞大的青山湖水库的影响效果十分有限，这可能是因为外源降雨所输入到青山湖流域的磷更多的是以磷颗粒的形式存在于水体之中。

3.2.2总氮的季节变化特征

上云村断面区域的总氮含量月变化非常明显，峰值约为1.96mg/L，出现在2017年的3月，低值为0.63mg/L，出现在2018年2月，平均值约为1.29mg/L，属于IV类水体。呈现出强烈季节波动的特征，这种现象反映出外源输入对水库水体质量的重要影响，也是云南省山区水库的普遍现象。

上云村所设断面氮含量的变化与监测期间降雨量的多寡有密切联系，2017年楚雄市相对干旱，总降水量890mm，2018年相对处于湿润，总降雨量达到1118mm。然而，2017年7月楚雄市的降水充沛，是该年份降雨量丰富的一月，相应的，上云村所设断面区域水体中总氮的含量在次月达到最大。在2018年的2月和3月是降雨量最少的月份，相应的上云村所设断面区域水体总氮含量达到最低值，在0.62处上下波动。这一方面说明了降雨量对青山湖水库流域总氮的浓度有重要影响，另一方面也说明季节变化对总氮浓度的变化具有重要作用。

龙川江入青山湖水库的总氮含量浓度总体上呈现出明显上升的趋势，总氮浓度均值约为4mg/L。自2017年后大约为2mg/L。库区内所设断面监测点的总氮含量相对保持在一个稳定水平。调查得出，青山湖水库主要入库水体总氮含量浓度的变化规律与硝态氮的浓度变化规律特征相接近，这可能证明水体中总氮含量的上升主要是受到硝态氮增加的影响。这种状况可能是受到青山湖水库上游区域以硝酸盐为原料的工业排放废水有关，硝态氮会随着降水和灌溉等淋溶作用进入青山湖流域地下水系中，又会补给到龙川江，这可能是导致青山湖水库区域总氮浓度偏高得重要原因之一。

3.2.3溶解氧的季节变化特征

溶解氧季节变化的主要影响因素有温度和光照(包括光照强度与日照长短)等。这些变化通过影响水中植物的光合作用,需氧生物的耗氧情况,以及氧在水中的溶解,从而影响水体中溶解氧含量的变化，夏季青山湖(6~8月)溶解氧呈逐月下降趋势，整个夏季溶解氧的饱和度变化并不是很大，变幅在105. 1 %~116. 1 %之间，均值为110.6%，最高值出现在7月份。可见藻类光合作用对水体中溶解氧的影响较为有限,影响青山湖水体溶解氧含量的主要因素是水温。这也从侧面反映了近年来，尤其是2017年水危机以后，楚雄市政府对龙川江及其附近水域综合治理的效果可能已经得到了初步的显现,藻类的大量繁殖在一定程度上得到了遏制。

青山湖水库所设采样断面溶解氧的变化虽然会因月份的变化而略有不同,但基本呈现西岸高、东岸低，以及湖心最高的态势。这可能主要与夏季的东南风有关，由于受风力的影响,藻类会大量聚集在青山湖的西南部沿岸，影响水中溶解氧的饱和度,从而使溶解氧偏高。青山湖水库溶解氧最高的区域出现在湖心，这不仅与藻类的繁殖有关，而且还与西岸水体的外源污染有关。一方面，龙川江由于入青山湖水库水流较快,水深较浅，所以河水泥沙含量较高，水体浑浊度高，并且常常带有生活垃圾及大量漂浮物,严重影响了藻类生长所需的光照条件，所以藻类繁殖在一定程度上受到影响。另一方面，近年来青山湖水库主要入湖河流龙川江上游接纳了大量工业废水和生活污水，并通过龙川江水域进入青山湖。有机污染较为严重，水质较差,溶解氧往往因为有机物降解耗氧而低于整个青山湖的平均值，一般在50%~90%之间，湖心因受东南季风的影响,藻类密度一般较高，加之污染物较少，所以就不难理解湖心溶解氧最高了。坝址水域溶解氧含量最低，也表明了该水域藻类活动较少。

3.2.4透明度的季节变化特征

研究期间,青山湖水库区域透明度均值为170±7cm。对各采样点间数据样本的方差分析发现,所设6个采样点间的水体透明度均无显著的统计差异,而相关性分析发现各采样点间的透明度数值均呈极显著的正相关关系 ,说明各采样点透明度的季节变化过程同步。

对比所设断面水体透明度数值，上云村断面水体透明度明显低于下游区域，上云村断面16个月水体透明度的平均值为176cm,而杨家咀断面水体透明度达到236cm。出现这种透明度数值差异的原因可能是上云村区域受到外来水源的影响，外来水源带来了丰富的营养盐类和泥沙物质，导致该区域水体水质波动较大，而杨家咀区域则处于水库湖泊区域，泥沙物质对水体透明度的影响十分有限。

2017年5月青山湖水库区域水体透明度均值为118土12cm.入汛后(6-9月中旬),透明度下降,并保持在相对较低的水平(70±5cm).透明度在10月下旬入秋后随着枯水期的来临和水库水位的升高而增加,2017年11月至2008年1月,透明度均值为276土11cm,是研究期间的较高水平.冬末初春,青山湖水库水体透明度开始迅速下降,4月山湖水库水体透明度为150±33cm,入汛后青山湖水库水体真光层深度再次保持在相对稳定的低水平，2018年5月至10月中旬透明度均值仅为77±5cm.自2018年9月下旬开始,青山湖水库水体透明度再次升高,并在冬季保持在相对较高的水平(257土14cm) ,而在2019年冬末初春开始下降.大体上,青山湖水库水体透明度自春末夏初开始降至很低水平，汛期保持相对稳定,而从夏末入秋开始则持续升高，进入冬季后维持在较高状态,并在从2月下旬入春开始逐渐下降.两年研究期间，上述季节变化特点具有较明显的重现性[5]。

3.3青山湖水库水质的空间变化特征

青山湖水库水质分析需要基于以上季节变化分析，从上述数据中选择水库水体富营养化相对严峻的5、10月，对青山湖水库水质的空间差异进行分析。

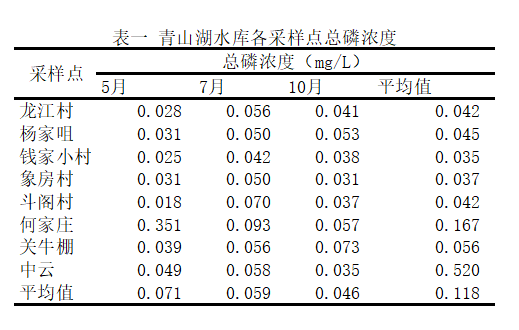
3.3.1透明度的空间变化特征

从空间上看，中云村所设断面水域透明度最低，5个月时间平均值为205cm，以周边环境为考虑对象，这可能是因为该区域人类活动较为密集，对地表环境扰动很大，且影响周边水域，另外由于发展迅速，经济发展速度较快，迅速增加了大棚蔬菜、畜牧业，这对当地污水处理有较高的要求，而目前城镇污水处理过程中，对氮磷的过滤系统还不够完善，污水处理厂尾水中营养盐的含量还比较大，满足了水库周边藻类的生长需求。

龙江村、杨家咀两个库区断面透明度平均值为286，而上游的5个断面透明度平均值为223，这可能是因为上游地区多为山谷地带，植被保护状况情况较好有关。

3.3.2总磷的空间变化

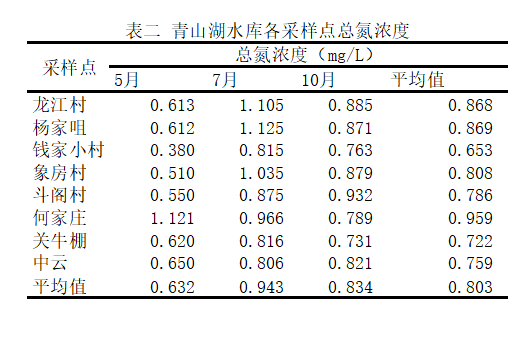
由表一可知，5月水体总磷浓度范围为0.018-0.35mg/L，均值为0.071mg/L。其中何家庄采样点总磷浓度相对较高，为均值的5倍；龙江村、钱家小村采样点总磷浓度相对较低分别为均值的0.39和0.35倍。7月水体总磷浓度为0.042-0.093mg/L，均值为0.059mg/L。其中何家庄采样点总磷浓度相对较高，为均值的1.5倍；钱家小村采样点总磷浓度相对较低，为均值的0.7倍 。10月水中总磷浓度为0.031-0.073mg/L，均值为0.046mg/L。其中关牛棚采样点总磷浓度相对较高 ，为均值的1.5倍；象房村采样点总磷浓度相对较低，为均值的0.6倍。



青山湖水库水体总磷情况与透明度有相似性，何家庄断面平均浓度最高，为0.167mg/L，下游区的三个断面平均值最低，分为0.042、0.045、0.035mg/L,接近I类水的标准。但是，也存在着较大的不同。上、下游磷含量差距显著，位于下中游地区的何家庄断面比上游地区龙江村、钱家小村地区含磷量高出数倍，这种上下游不同区域之间含磷量差别的加大，都反映出了总磷受到外源输入的影响，磷含量的差异表明青山湖流域磷污染与土地利用状况密切相关。

3.3.3总氮的空间变化特征

由表2可知，5月水体总氮浓度范围为0.380-1.121mg/L,均值为0.632mg/ L。其中何家庄采样点总氮浓度相对较高，为均值的1.7倍；钱家小村采样点总氮浓度相对较低，为均值的0.6倍。7月水体总氮浓度为0.806-1.125mg/L。其中杨家咀采样点总氮浓度相对较高，为均值的1.19倍；中云采样点总氮浓度相对较低，为均值的0.85倍。10月水中总磷浓度为0.731-0.932mg/L，均值为0.834mg/L。其中斗阁村采样点总氮浓度相对较高，为均值的1.11倍；中云采样点总氮浓度相对较低，为均值的0.87倍。

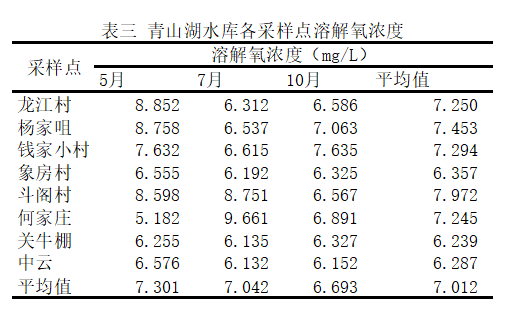


青山湖水库水体8个断面总氮含量空间变化十分显著。总氮浓度维持在0.8mg/L，属于III类水质。何家庄是受氮元素污染最严重的地区，5个月的平均值达到0.959mg/L。其次是杨家咀、龙江村等上游地区，平均值分别为0.869、0.868mg/L。总体上处于III类水质

3.3.4溶解氧的空间变化特征

由表3可知，青山湖各采样点水体溶解氧的质量浓度范围为60239-7.972mg/L，均值为7.012mg/L。5月，杨家咀溶解氧较均值偏大，为均值的1.19倍；而何家庄溶解氧浓度最低，为5.182mg/L，为均值的0.7倍。7月，何家庄溶解氧均值偏大，为均值的1.37倍；而中云溶解氧浓度最低，为6.132mg/L，为均值的0.87倍。10月，所有样点溶解氧平均值较7月减少了12.09%。

5月、7月、10月各采样点水体溶解氧浓度总体上无显著差异；7月和10月水体溶解氧浓度总体上有显著差异。从各采样点水体溶解氧浓度的分布来看，何家庄的变异程度较为剧烈，在3个阶段何家庄区域表层湖水溶解氧浓度较其余采样点波动剧烈，分别为均值的0.7、1.37、0.94倍，产生这种现象的原因可能是该区域丰富的氮磷消耗了水体中的一部分溶解氧。



**4结论与探讨**

现阶段,青山湖水库氮磷污染形势严峻，青山湖水库库区水质受到农业营养物质的影响较大，其次为水体中所含有的各种化学元素和有机物的影响。

分析各采样点水环境的时空差异。总氮含量方面，斗阁村一带含量旅居高处，为劣V类水平，象房村的含量较低。斗阁村位于青山湖水库中部地区，来自农业污染和生活污水的直接排入河内[6]，多是致使该区域水体中总氮含量较高的主要因素。

总磷方面，2017年以前，青山湖水库坝首和坝尾地区均呈上升趋势，而2018年下半年后两地总磷的格局存在明显差异，具体来说坝尾地区出现下降趋势，而坝首地区仍保持着逐年上升趋势。坝首地区有大量的农业用地，实地考察表明，除草剂在斗阁村及上游地区使用较为广泛，除草剂中磷元素的添加，也是该地区磷污染严重的原因之一，进一步导致了青山湖水库磷污染加重[7]。

库区高锰酸盐指数呈逐年上升趋势，所选采样点区域高锰酸盐指数较高。

总体而言，各样点的水环境因子呈现一定的时空规律，在空间上，水质监测样点为斗阁村，水质最好样点是宋家湾，象房村及以下区域具有明显的时空变化特征，其中总氮下降，而其他水环境因子逐渐增加。从时间上看，各点列出的水环境因子表现出明显的上升趋势。

楚雄市青山湖水库水质监测历时两年，水库水质环境的调查根据汇入青山湖水库的河流水文特性、水库范围内污染源对水库水质的影响以及水库水体自身的生态环境特点选择6个监测点对青山湖水库不同季节的水质进行8次监测。经过对数据的整理分析可得出：

(1)青山湖水库水质为III-V类水体，污染水体主要污染物为浮游生物的异常增多以及生活污染垃圾的集中排放，主要超标污染物为高锰酸盐指数。水库水环境污染状态呈现较清洁~微污染，上游水源水质不达标，水体呈现富营养状态[8] 。

(2)楚雄市城市经济的持续稳定发展，对于水质的要求将会逐步提高，楚雄市各工农商希望在满足现阶段水源量需求的基础上，将会逐步用上具有优质水质的水资源，所以，对水资源在量、质方面的需求将不断增加。

（3）随着楚雄市城区及周边区域的经济发展，增加了污染物的排放量，进一步将会加大水库水质的保护与区域资源的压力，青山湖水库水质保护工作将会面临着严峻形势，为了实现青山湖水库水质的逐步利好，需要楚雄市从水生态环境保护意识、水库管理政策和水质净化技术三个方面协同，进行水质水量的保护，采取综合有效的对策和措施保护青山湖水质水资源[9]。

**5水质保护建议**

（1）近年来青山湖水库水位持续下降，水库蓄水量的下降使得水库自身的纳污能力和自净能力明显降低。库中地区现状为平地，且高程低于水库正常蓄水位，不具备作为其它用地的条件，物种较为单一，且由于当地居民取土的需要，对该处土壤植被造成了破坏，在部分地段形成了植被覆盖率低的裸地，与周边的生态环境对比强烈。通过人工辅助的方式，在湿地内侧边缘，挡坎区域栽植乔灌木和草本等；近水区域栽植沉水植物，建设新的生态湿地自然景观，进行湿地植被修复与周边景观的打造，使上述地块的景观与周边相互融合。

（2）通过对数据的进一步分析，对青山湖水库水质影响较大的因素是周边进行农业生产过程中产生的营养物质，禁止在青山湖水库水源保护湖区内种植速生林，对保护区内现有速生林间伐套种，营造汇水区涵养林。发展与水源保护相适应的生态农业，调整农业结构，转变农业生产方式，合理调整产业布局，严格控制农药化肥的使用量，控制面源污染。

（3）建立水库周边污水及垃圾处理设施，避免生活污水直接排入河道，提高企业污水处理能力，加强村镇垃圾收集和无害化处理。

（4）库区实行半封闭管理 ，尽可能减少生产建设和旅游等人类活动的影响，在河岸地带种植可有效截留的植被，减少径流污染进入河道。

（5）建立智能水库管理系统，以现有监测数据为基础，充分利用信息化技术和数学模型，构建青山湖水库流域水环境安全保障平台，进行洪水预报、水质安全及富有营养化预警和生物预警，增强决策的科学性和预见性，提高水库的应急反应和处置能力。

楚雄青山湖水库水环境的质量监测是实行青山湖水库水质治理的必要前提，也是打造楚雄市生态城市的重要环境保障，为楚雄市人民提供安全洁净的水资源是楚雄市实现生态可持续化发展的社会保障，是实现楚雄市社会经济持续发展的重要支撑之一。根据楚雄市青山湖水库水质逐季趋污染变化的动态趋势，对云南区域水环境质量的动态研究综合评价的研究工作提供相应的借鉴意义，同时，也为区域管理部门对水环境的管理和决策提供参考。

**参考文献**

[1]刘英，韩进奇，刘太平.溪洛渡电站超大断面闸门竖井群开挖关键技术[J].四川水力发电，2009,28（z2）:131-134.

[2]陈伟民,黄祥飞,周万平等.湖泊生态系统观测方法[M].中国环境科学出版社,2005:259.

[3]国家环境保护总局 水和废水监测分析方法编委会.水和废水监测分析方法[M].四版.北京：中国环境科学出版社，2002

[4]杨晨昱,陈勇,张敏,渠晓东. 京津冀重要饮用水源地潘大水库水体污染特征分析[J].科技创新与应用,2018,(11):61-62.

[5]张呈,郭劲松,李哲.三峡小江回水区透明度季节变化及其影响因子分析[J].湖泊科学,2010(02):41-46.

[6]陈勇,张敏,渠晓东.潘大水库水环境时空格局演变动态[J].应用与环境生物学报,2016(06):126-132.

[7]罗玲,李适宇,厉红梅. 夏季珠江口水域溶解氧的特征及影响因素[J].中山大学学报：自然科学版，2005，44（66）：287-294 .

[8]王少明,邢海燕,王立明 .潘家口和大黑汀水库水质变化趋势分析[J]水资源保护，2003，（2)：25-27.

[9]李磊,陈金明,肖振国,华春丽.云南省农业水环境质量现状分析与研究[J].中国水利2018，15：2-3.

**基金项目：**国家级大学生创新创业训练项目，“楚雄市土地资源流转问题调查研究” （201811391001）。

**作者简介：**卫鸿浩（1994.3—）男，楚雄师范学院地理科学与旅游管理学院本科生，研究方向：自然地理。

**※通讯作者：**王学良（1965.5—）男，楚雄师范学院地理科学与旅游管理学院教授，研究方向：自然地理。邮箱：wxldlx@cxtc.edu.cn 电话：13987856617