

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.03.010

青海长江源区 2005—2012 年地表水水质状况 及变化趋势分析

鲁子豫,马 燕,李志强,李建莹,李生寿,祁佳丽

(青海省生态环境遥感监测中心,青海 西宁 810007)

摘要:利用 2005—2012 年青海长江源区地表径流 7 个监测断面连续 8 年的地表水监测数据,分析长江源区地表水水质状况及变化趋势。结果表明:青海长江源区各监测断面Ⅰ~Ⅲ类水质比例为 100%,区域地表水水质状况整体为优,水质为一级清洁;地表水中主要污染因子为 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP;地表水中元素浓度基本处于背景值状态,人类影响极微。

关键词:地表水;水质;变化趋势;长江源区;青海省

中图分类号:X820.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)03-0053-04

Water quality of surface water and its variation trend in Yangtze River Source Area of Qinghai from 2005 to 2012

LU Ziyu, MA Yan, LI Zhiqiang, LI Jianying, LI Shengshou, QI Jiali

(Remote Sensing Monitoring Center of Ecological Environment of Qinghai Province, Xining 810007, China)

Abstract: The surface water quality and the variation trend around the Yangtze River Source Area were analyzed based on the monitoring data of surface water from 7 main monitoring cross-sections for successive 8 years from 2005 to 2012. The result shows that the water quality ratio in each monitoring section betweenⅠ andⅢ is 100%, which means that the overall condition of surface water in this area is optimal and the water quality grade is ClassⅠ. The main pollutants in surface water contain Permanganate, Ammonia nitrogen and 3 kinds of Total Phosphorus. However these element concentration in the surface water is at the state of background value, which hardly has impact on human body.

Key words: surface water; water quality; variation trend; Yangtze River Source Area; Qinghai Province

青海长江源作为中国“母亲河”长江的源头,是三江源区的重要组成部分,位于北纬 $32^{\circ}30' \sim 35^{\circ}40'$,东经 $90^{\circ}30' \sim 94^{\circ}00'$ 之间,平均海拔高度 4000 m,面积约 14 万 km^2 ,占长江流域总面积的 8%^[1-3]。三江源区被誉为“中华水塔”,青海长江源作为三江源区的组成部分,其主要功能是为长江中、下游地区输送优质的水资源^[4],因此源区地表水水质状况对长江中、下游地区水资源的可持续利用具有重要意义。文献[1-8]对长江源区地表水环境状况进行了相关研究,但采用的监测数据时间序列较短,且

均为时间较早的监测数据,而近几年未见到关于青海长江源区地表水水质状况的研究及相关报道。本文采用 2005—2012 年连续 8 年的地表水水质监测数据,以单因子评价法、内梅罗综合污染指数法和秩系数相关法对长江源区地表水质状况、主要污染因子变化趋势和区域内地表水水质状况变化趋势进行分析,旨在清晰地反映青海长江源区地表水水质状况及变化趋势,为政府管理和制定流域水质保护、水权交易和生态补偿相关政策提供理论依据。

基金项目:青海省科技厅科技促进新农村计划(2013-N-534)
作者简介:鲁子豫(1983—),男,工程师,从事生态环境监测与评价工作。E-mail:lzy83202@163.com

1 数据来源和研究方法

1.1 断面选择

地表水水质监测断面根据长江源区地表水水系分布情况,在主要河流的干流及一级支流选取 7 个地表水水质监测断面,详见表 1 和图 1。

表 1 长江源区地表水水质监测断面信息

监测断面名称	所属行政区域	海拔/m	水质功能目标
扎曲河称多	称多县	4227	I 类
直门达	称多县	3575	I 类
通天河大桥	曲麻莱县	4073	I 类
楚玛尔河大桥	五道梁	4532	I 类
通天河唐古拉	唐古拉山镇	4576	I 类
布曲河雁石坪	雁石坪	4727	I 类
沱沱河大桥	唐古拉山镇	4548	I 类

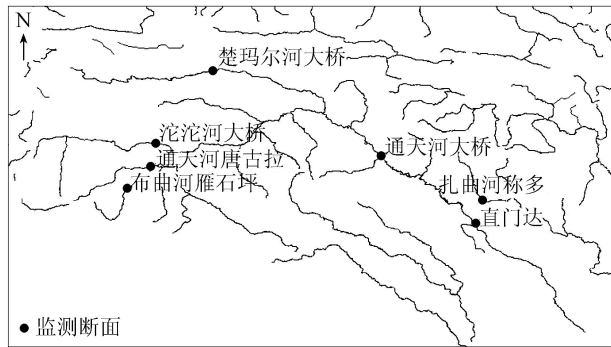


图 1 长江源区地表水水质监测断面示意图

1.2 数据来源

本文所采用的水质数据来源于“青海三江源自然保护区生态保护和建设工程生态监测项目”2005—2010 年年度环境质量监测分析报告和“青海省重点生态功能区县域生态环境质量监测与评价项目”2011 年和 2012 年监测分析报告,均由青海省环保厅“青海省生态监测综合技术组”提供。水质数据涉及 pH、COD_{Mn}、COD、NH₃-N、TN、TP、Cu、Pb、Zn、Se、As、Cd、Hg、Cr⁶⁺、氟化物、氰化物、挥发酚、石油类、硫化物、阴离子表面活性剂共 20 项。

1.3 水质状况评价分析方法

流域水质评价^[9]采用监测断面水质类别比例法,当河流、流域水质监测断面总数在 5 个以上时,根据评价河流中各监测断面水质类别数占流域所有评价断面总数的百分比来定性评价其水质状况: I ~ III 类水质比例≥90% 时,水质状况为优秀;75% ≤ I ~ III 类水质比例<90% 时,水质状况为良好; I ~ III 类水质比例≥75%,劣 V 类水质比例<20% 时,水质状况为轻度污染; I ~ III 类水质比例<75%,20% ≤ 劣 V 类水质比例<40%,水质状况为中度污染; I ~ III 类水质比例<60%,且劣 V 类水质比例≥40%,水质状况为重度污染。

各监测断面水质状况及主要污染因子变化趋势评价方法如下:地表水水质评价采用单因子指数评价法,依据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》对年度每个监测断面的水质类别做出判定,并确定河流水质主要污染因子;河流水质主要污染因子的年际变化趋势采用内梅罗综合污染指数法进行分析;主要污染物年际变化趋势的显著性分析采用秩相关系数法。

1.3.1 单因子指数评价法

单因子指数评价法^[9-11]是将每个监测断面所有污染因子单独进行评价,计算各水质污染因子的标准指数。计算公式为

$$S_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{C_{s,i}} \tag{1}$$

式中: $S_{i,j}$ 为标准指数; $C_{i,j}$ 为评价因子 i 在 j 点的实测浓度值; $C_{s,i}$ 为评价因子 i 的评价标准限值,以地表水 III 类水质为标准。

1.3.2 内梅罗综合污染指数

内梅罗综合污染指数^[10]是表示污染因子对环境污染程度的一种数量指标。按照每个水质因子的标准指数 $S_{i,j}$,计算各水质断面的内梅罗综合综合指数 $P_{综}$,并对照内梅罗综合污染指数分级标准(表 2)定量评价污染物年际变化对区域水质的影响程度。其计算公式如下:

$$P_{综} = \sqrt{(S_{ij最大}^2 + S_{ij均}^2)/2} \tag{2}$$

式中: $P_{综}$ 为综合污染指数,即内梅罗污染指数; $S_{ij最大}$ 为污染物中标准指数最大值; $S_{ij均}$ 为污染物中标准指数平均值(以地表水 III 类水质为标准)。

表 2 内梅罗综合污染指数分级标准

分级	一级 (清洁)	二级 (较清洁)	三级 (轻污染)	四级 (中等污染)	五级 (重污染)
$P_{综}$	(0,0.70]	(0.70 ~ 0.90]	(0.90 ~ 1.50]	(1.50 ~ 3.00]	(3.00, ∞)

1.3.3 秩相关系数法

秩相关系数法^[9,11]是将各污染因子的实测浓度值与时间序列建立联系,衡量污染状况变化趋势在统计上是否有显著性意义,同时定量分析污染变化趋势的方法。计算公式为

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=0}^n d_i^2}{N^3 - N} \tag{3}$$

其中 $d_i = X_i - Y_i$ (4)

式中: d_i 为变量 X_i 和变量 Y_i 的差值; X_i 为周期 1 到周期 N 按浓度值从小到大排列的序号,即 2005—2012 年各主要污染因子的年平均浓度按照从小到大排列的序号; Y_i 为按监测年度排列的序号,即 2005—2012 年按照监测年度排列为 1,2,⋯,8。

表 3 2005—2012 年长江源区地表水水质监测结果

监测断面	pH	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{氟化物})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
扎曲河称多	8.04 ~ 8.43	1.0 ~ 3.1	5L ~ 15.0	0.025L ~ 0.18	0.09 ~ 0.28	0.01L ~ 0.18
直门达	7.62 ~ 8.39	0.8 ~ 2.0	5L ~ 20.0	0.025L ~ 0.21	0.13 ~ 0.29	0.01L ~ 0.17
通天河大桥	7.29 ~ 8.55	1.1 ~ 2.0	5L ~ 11.0	0.025L ~ 0.71	0.15 ~ 0.40	0.01L ~ 0.09
楚玛尔河大桥	8.18 ~ 8.32	1.0 ~ 3.6	5L ~ 14.0	0.058 ~ 0.42	0.21 ~ 0.49	0.01L ~ 0.19
通天河唐古拉	7.79 ~ 8.24	0.5 ~ 2.1	5L ~ 13.0	0.025L ~ 0.42	0.17 ~ 0.34	0.01L ~ 0.15
布曲河雁石坪	7.70 ~ 8.19	0.6 ~ 2.7	7.0 ~ 16.0	0.025L ~ 0.48	0.11 ~ 0.38	0.01L ~ 0.19
沱沱河大桥	7.54 ~ 8.40	0.7 ~ 1.7	5.0 ~ 19.0	0.049 ~ 1.00	0.18 ~ 0.47	0.025 ~ 0.19

注：“L”的数值为低于分析方法最低检出限值，即未检测出该类物质，以检测方法最低检出值后加“L”表示，由于部分物质的分析方法更新，因此数据统计时，未检出物质均采用最新方法的最低检出限值。

如果 r_j 是负值，表明水质状况有转好趋势，水质污染呈下降趋势；如果 r_j 是正值，则表明水质状况有恶化趋势，水质污染呈上升趋势。将秩相关系数 r_j 的绝对值同 spearman 秩相关系数统计表中的临界值 W_p 进行比较，如果 $r_j > W_p$ 则表明水质变化趋势具有显著意义。

2 分析与讨论

2.1 监测结果

通过对长江源区各断面地表水进行分析，结果表明 2005—2012 年地表水中 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr⁶⁺、As、Se、Hg、硫化物、挥发酚、氰化物、石油类、阴离子表面活性剂 13 项水质污染因子均未检出；按照《地表水环境质量评价办法（试行）》^[9]，TN 不参与河流水质评价，其余指标 2005—2012 年监测结果见表 3。

2.2 流域水质状况

2005—2012 年 7 个地表水监测断面水质均符合 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质标准，各监测断面Ⅰ～Ⅲ类水质比例为 100%（表 4），对照流域水质定性评价分级表，可知青海长江源区地表水水质状况整体为优。

表 4 长江源区 2005—2012 年各监测断面水质类别评价

监测断面	水质类别							
	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
扎曲河称多	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
直门达	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ
楚玛尔河大桥	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ
通天河大桥	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
通天河唐古拉	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
布曲河雁石坪	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
沱沱河大桥	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ

为进一步说明 2005—2012 年地表水水质状况

及污染因子变化情况，对 7 个监测断面 COD_{Mn}、COD、NH₃-N、TP 和氟化物质量浓度对水质的影响进行年际对比。由图 2 可以看出，2005—2012 年各类污染因子浓度表现为无规律的上下波动性，主要表现为：COD_{Mn}质量浓度在楚玛尔河大桥、扎曲河称多和布曲河雁石坪 3 个断面在Ⅰ～Ⅱ类水质标准范围内浮动，其余监测断面水质稳定在Ⅰ类水质范围；COD 质量浓度 2005 年和 2006 年在部分断面出现Ⅱ类水质，2007 年起 7 个断面均保持在Ⅰ类水质；NH₃-N 质量浓度 2006 年在通天河大桥断面出现Ⅲ类水质，其他断面保持在Ⅰ～Ⅱ水质范围内；TP 质量浓度从 2006 年起基本稳定在Ⅱ类水质范围内；氟化物质量浓度处于稳定状态维持在Ⅰ类水质范围内。由于 7 个监测断面所属区域的水功能区划目标均为Ⅰ类，因此近几年区域内地表水主要污染因子为 COD_{Mn}、COD、NH₃-N、TP。

造成长江源区地表水中 COD_{Mn}、COD、NH₃-N、TP 质量浓度偏高的主要原因是常年温度偏低，生物化学作用微弱，有机物分解速率低且分解不彻底，地表水中元素的转化过程不同于一般情况，形成了青藏高原特殊的转化模式^[5-7]，此外由于地表水样品采集均为夏季，长江源区降水主要集中在夏季，降水波动性较大，丰枯转换频繁^[9]，亲水性的铵离子和磷酸离子被雨水从土壤中淋溶进入地表水，也是造成地表水中 NH₃-N 和 TP 质量浓度偏高的原因之一，同时区域人口少，不存在任何工矿企业，整个自然环境处于原始状况，以 2005—2012 年实际监测数据对比张立成等^[5]关于长江源区天然水体元素浓度背景值的研究，可以发现 2005—2012 年长江源区地表水中各项元素浓度值与背景值基本一致。

通过计算，从表 5 得知，区域内地表水综合污染 2005 年为最高值，2005—2007 年水质逐年改善。2008 年综合污染指数虽然呈现上升趋势，但低于 2006 年数值，2009—2012 年综合污染指数相对 2008 年明显下降，但呈现逐年极小幅度的上升趋势。2005—2012 年区域地表水水质内梅罗综合污

◇直门达 ✕通天河大桥 —沱沱河大桥
 ▲扎曲河称多 □楚玛尔河大桥 ○通天河唐古拉
 +布曲河雁石坪

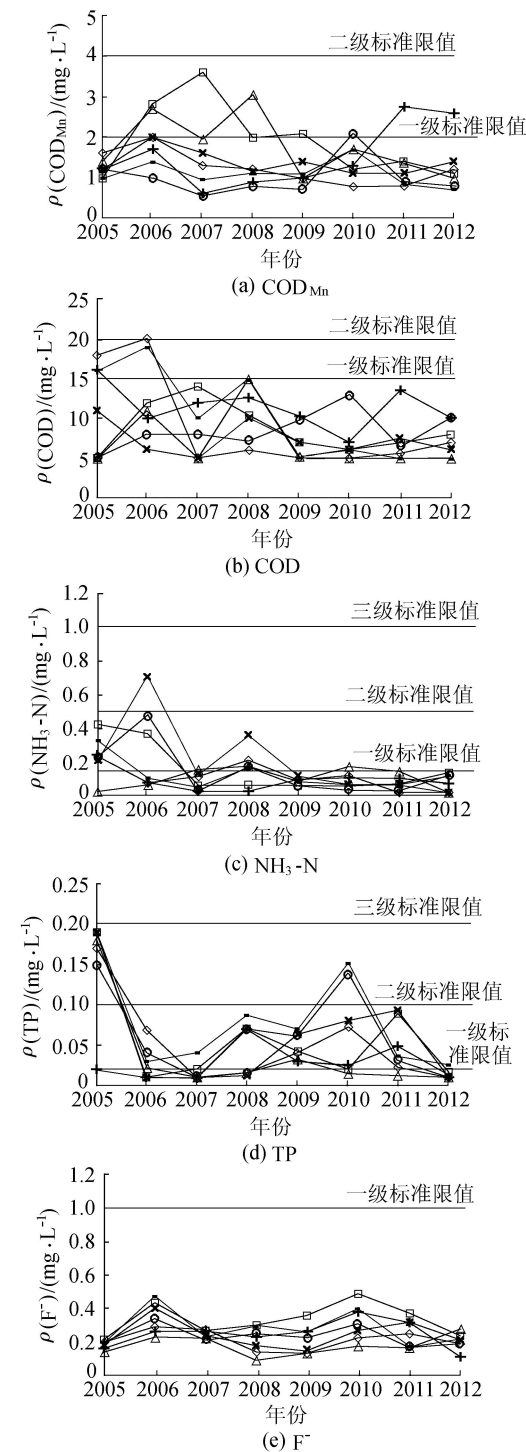


图2 2005—2012年各种污染物质量浓度年际对比

染指数在0.21~0.55之间,按照内梅罗指数水质分级评价表的分级标准,整个流域各年度的综合污染指数均小于0.7,水质属于一级清洁。

表5 2005—2012年长江源区地表水内梅罗综合污染指数

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
内梅罗综合污染指数	0.55	0.44	0.21	0.38	0.21	0.27	0.27	0.28

2005—2012年长江源区地表水中综合污染指数在一级清洁的范围内呈现出无规律的上下波动,表明虽然青海长江源区地表水水质变化受自然影响较大,但由于地处长江上游,且经济发展较慢,污染物排放量少,人口密度低,水环境容量大,因此水体自净能力强^[8],水质保持相对稳定状态。

通过秩相关系数法分析2005—2012年长江流域污染物变化趋势(表6),可以看出7个监测断面的地表水中,除布曲河雁石坪断面的COD_{Mn}质量浓度、通天河大桥断面的NH₃-N质量浓度和扎曲河称多断面的NH₃-N质量浓度没有下降趋势外,其余各断面的COD_{Mn}、NH₃-N、TP质量浓度均呈下降趋势,其中多数断面的污染下降趋势显著。

表6 2005—2012年长江源区各断面污染物秩相关系数

监测断面	COD _{Mn}	NH ₃ -N	TP
扎曲河称多	-0.524	0.024	-0.357
直门达	-0.714	-0.619	-0.476
楚玛尔河大桥	-0.027	-0.486	-0.257
通天河大桥	-0.381	-0.881	0.167
布曲河雁石坪	0.657	-0.543	-0.029
通天河唐古拉	-0.371	-0.371	-0.543
沱沱河大桥	-0.262	-1.238	-0.600

注: $N=8$ 时,秩相关系数 r_s 在 $P=0.05$ 显著水平的临界值 $W_p=0.643$ 。

3 结 论

通过分析2005—2012年青海长江源区7个监测断面连续8年的地表水监测数据,得出2005—2012年长江源区地表水中Cu、Pb、Zn、Cd、Cr⁶⁺、As、Se、Hg、硫化物、挥发酚、氰化物、石油类、阴离子表面活性剂13项水质污染因子均未检出;2005—2012年长江源区地表水Ⅰ~Ⅲ类水质比例为100%,各监测断面水质为“优”,区域地表水水质整体保持一级清洁;地表水中主要污染因子为COD_{Mn}、NH₃-N、TP;地表水中元素浓度基本处于背景值状态,人类影响极微。

致谢:“青海省生态监测综合技术组”为本项目的研究提供了连续8年的监测数据,在此表示衷心感谢。

参考文献:

[1] 傅德黔,王晓慧,刘京,等.长江河源水环境背景值调查及分析[J]. 中国环境监测,1998,14(1):9-11. (FU Deqian,WANG Xiaohui,LIU Jing,et al. The investigate analysis about background value of water environmental in the soure area of Yangtze River[J]. Environmental Monitoring in China,1998,14(1):9-11. (in Chinese))

(下转第62页)

- Impacts of climate change on Missouri river basin water yield [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2001, 37: 1119-1129.
- [7] 李道峰,田英,刘昌明. 黄河河源区变化环境下分布式水文模拟[J]. 地理学报, 2004, 59 (4) : 565-573. (LI Daofeng, TIAN Ying, LIU Changming. Distributed hydrological simulation of the source region of the Yellow River under environment changes [J]. Journal of Acta Geographica Sinica, 2004, 59(4) : 565-573.)
- [8] IPCC. IPCC forth report of assessment of climate change [R]. Cambridge, United Kingdom and New York; Cambridge University Press, 2007.
- [9] 夏智宏,周月华,许红梅. 基于 SWAT 模型的汉江流域水资源对气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(2) : 158-163. (XIA Zhihong, ZHOU Yuehua, XU Hongmei. Water resources responses to climate changes in Hanjiang River Basin based on SWAT model[J]. Journal of Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(2) : 158-163. (in Chinese))
- [10] 费永法,张炎斋. 淮河流域水资源问题及对策[J]. 水利规划与设计, 2005 (1) : 23-25. (FEI Yongfa, ZHANG Yanzhai. Questions and suggestions on water resources in Huaihe River Basin [J]. Journal of Water Resources Planning and Design, 2005(1) : 23-25. (in Chinese))
- [11] 胡瑞,左其享,窦明,等. 淮河流域水资源承载力研究 [C]//四川大学. 第六届中国水论坛:河流开发、保护与水资源可持续利用. 北京:中国水利水电出版社, 2008:347-352.
- [12] 楚恩国. 洪泽湖水资源现状分析及对策[J]. 中国水利, 2007 (23) : 33-35. (CHU Enguo. Anaysis of present situation of water resources in Hongze Lake and its counter measures[J]. Journal of China Water Resources, 2007 (23) : 33-35. (in Chinese))
- [13] 肖军仓,周文斌,罗定贵,等. 非点源污染模型-SWAT 用户应用指南[M]. 北京:地质出版社, 2009.
- [14] 彭世彰,徐俊增. 参考作物蒸发蒸腾量计算方法的应用比较[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23 (6) : 5-9. (PENG Shizhang, XU Junzeng. Comparision of reference crop evapotranspiration computing methods [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2004, 23(6) : 5-9. (in Chinese))
- (收稿日期:2014 - 09 - 28 编辑:徐 娟)

+++++
(上接第 56 页)

- [2] 傅德黔,傅强,舒俭民. 长江河源水环境理化特征分析 [J]. 中国环境监测, 1998, 14 (3) : 2-4. (FU Deqian, FU Qiang, SHU Jianmin, et al. The analysis about physical and chemical chatacteristic of water environmental in the soure area of Yangtze River [J]. Environmental Monitoring in China, 1998, 14(3) : 2-4. (in Chinese))
- [3] 孙鸿烈. 长江上游地区生态与环境问题[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2008.
- [4] 齐冬梅,张顺谦,李跃清. 长江源区气候及水资源变化特征研究进展[J]. 高原山地气象研究, 2013, 33 (4) : 89-96. (QI Dongmei, ZHANG Shunqian, LI Yueqing. Research progress on variations of the climate and water resources in the source region of the Yangtze River[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2013, 33 (4) : 89-96. (in Chinese))
- [5] 张立成,章申,董文江,等. 江河源水环境地球化学 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1992.
- [6] 石丽娜,赵旭东,倪天茹,等. 青海省三江源黄河源区地表水水质状况[J]. 贵州农业科学, 2012, 40 (4) : 220-223. (SHI Lina, ZHAO Xudong, NI Tianru, et al. Quality of surface water in Yellow River headwater area of the origin of three rivers in Qinghai Province [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40 (4) : 220-223. (in Chinese))
- [7] 卢素锦,石红霄,李鹏,等. 三江源长江地表水水环境现状评价[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26 (7) : 604-605. (LU Sujin, SHI Hongxiao, LI Peng, et al. Environmental assessment for water of Yangtse River of source area of Lantsang, Yellow and Yangtse River [J]. Journal of Environment and Health, 2009, 26 (7) : 604-605. (in Chinese))
- [8] 李茜,张建辉. 长江流域地表水水质区域污染特征研究 [J]. 三峡环境与生态, 2011, 33 (6) : 5-8. (LI Qian, ZHANG Jianhui. The study on the characteristics of regional surface water pollution of Yangtze River [J]. Environment and Ecology in the Three Gorges, 2011, 33 (6) : 6-12. (in Chinese))
- [9] 环保部. 环办[2011]22 号文件[S] 地表水环境质量评价办法(试行), 2011.
- [10] 侯佳辛. 基于内梅罗污染指数法的区域水环境评价 [J]. 内蒙古水利, 2012 (5) : 8-9. (HOU Jiaxin. Environmental assessment for surface water based on Nemero indexes [J]. Inner Mongolia Water Resources, 2012(5) : 8-9. (in Chinese))
- [11] 卞玮. 1960-2005 年来玛纳斯河水质评价及趋势分析 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (5) : 1443-1444, 1446. (BIAN Wei. Evaluation and trend analysis of water quality in Manasi River in recent ten years [J]. Journal of Anhui Agricul Sciences , 2007, 35 (5) : 1443-1444, 1446. (in Chinese))
- [12] 王冰冰,荣艳淑,白路遥. 长江源区和黄河源区降水量变化分析[J]. 水资源保护, 2013, 29 (6) : 6-12. (WANG Bingbing, RONG Yanshu, BAI Luyao. Analysis of precipitation variation in source regions of Yangtze River and Yellow River [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(6) : 6-12. (in Chinese))
- (收稿日期:2014 - 06 - 09 编辑:高渭文)