

三峡水库小江流域消落区土壤的理化性状

郑志伟¹, 邹 曦¹, 安 然², 张志永¹, 胡 莲¹, 万成炎¹, 胡红青²

(1. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079; 2. 华中农业大学, 湖北 武汉 430070)

摘要:2009年5月、7月和9月对小江流域上游至下游消落区的5个断面的土壤理化性状进行监测。结果表明, 土壤容重、孔隙度、pH、有机质、全氮和全磷的总体平均值分别为1.47 g/cm³、45%、7.33、16.42 g/kg、0.79 g/kg和0.59 g/kg, 变化范围分别为1.15~1.68 g/cm³、37.0%~61.0%、4.04~8.72、6.64~35.69 g/kg、0.40~1.42 g/kg和0.36~0.94 g/kg。高程150 m处的土壤容重均值在7月下降、9月增加, 160 m处的土壤容重均值在7月增加较多, 9月变化不大; 不同高程处的孔隙度均值变化与土壤容重变化呈相反的变化趋势; 高程160 m处土壤有机质在7月有所下降, 9月变化不大; 各高程土壤全氮和全磷总体呈7月升高、9月下降趋势。并对消落区土壤理化性状变化的影响因素进行了初步分析。

关键词:三峡水库; 小江流域; 消落区; 土壤理化性状

中图分类号:Q148 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2011)04-0001-06

三峡水库运行后, 在库周形成了大面积的消落区, 水位周期性地大幅度涨落(坝前高达30 m), 且与自然洪枯变化节律相反, 其可能导致的各种问题受到了社会各界的广泛关注。土壤是植被的载体, 土壤中贮存的氮、磷和碳等营养物质, 对植物的生长起着关键性的作用, 直接影响着植物群落的组成与生理活力, 决定着生态系统的结构、功能和生产力水平(王长庭等, 2005)。受三峡水库调度和上游来水的影响, 消落区土壤处于干湿交替环境, 淹没时段在水土界面与水域相互作用和影响, 出露时段主要受地表径流的影响, 其土壤理化性状因影响程度不同而呈现空间异质性。三峡水库分期蓄水至135 m(2003年)和156 m(2006年)后, 一些研究者重点开展了消落区土壤对氮、磷的吸附与解吸研究(詹艳慧等, 2006; 袁辉等, 2008)。

小江为三峡重庆库区长江北岸的一级支流(30°49′~31°41′ N, 107°56′~108°54′ E), 上游位于开县境内, 下游位于云阳境内, 在云阳县双江镇汇入长江, 干流全长182.4 km, 其中库区部分长117.5 km, 主要支流有东河、南河、普里河和洞溪河等, 流域面

积5 172.5 km²。地处四川盆地东北缘, 属川东平行岭谷的一部分, 地貌主要受控于地质构造和岩性, 依成因可分为堆积型、构造剥蚀型、构造侵蚀型和构造溶蚀型4种, 土壤类型主要有紫色土、水稻土和石灰土。小江流域气候温和, 雨量充沛, 年平均气温18.5℃, 年降雨量1 100~1 500 mm, 多集中于6~9月, 雨热同季。小江流域消落区面积为48.02 km², 占库区消落区总面积的15.9%, 是三峡库区消落区面积最大的支流。

2008年三峡水库试验性蓄水至172.8 m后, 形成大面积的消落区, 作者于2009年5月、7月和9月对小江流域消落区土壤的主要理化指标进行了监测和分析, 以期了解三峡水库正常蓄水初期消落区土壤的理化性状及其变化, 为三峡水库消落区的生态修复及水质保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

采样时间为2009年的5月、7月和9月。在小江流域消落区设置渠口(I)、养鹿(II)、高阳(III)、黄石(IV)和双江(V)5个监测断面, 如图1所示。根据地形条件在每个断面设置1个50 m×50 m的监测样地, 在样地海拔150、160和170 m处各设置3个1 m×1 m样方, 样方间距10~20 m, 并在I~IV断面附近的平坝消落区(高程155 m左右, 坡度均小于5°)设置监测3~5个相同大小的样方, 间距10~30 m。现场记录每个样地的海拔、经纬度和土壤类型等(见表1)。在样方内采用手动轻

收稿日期: 2011-01-13 收修改稿日期: 2011-03-24

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07104-003)和农业科技成果转化资金项目(2009GB23320489)资助。

通讯作者:万成炎, 1964年生, 男, 研究员, 主要从事水生态与环境保护研究。E-mail: chywan@mail.ihe.ac.cn

作者简介:郑志伟, 1982年生, 男, 研究实习员, 主要从事水污染防治技术研究。E-mail: zhiwei6207@mail.ihe.ac.cn

便式土壤取样套件钻取土壤样本,采样深度 0 ~ 20 cm;采集植物样本,称其鲜重。土壤样本采集及保存按照《土壤环境监测技术规范 (HJ/T166-2004)》的要求进行。

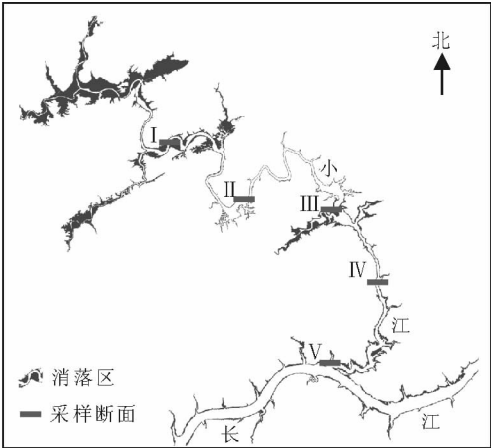


图1 采样断面位置示意

Fig.1 Location of investigation sections

1.2 样品分析与数据处理

土壤理化指标的测定均按照《土壤农化分析》(鲍士旦,2000)的相关要求进行。其中,土壤 pH 测定采用 KCl 浸提—pH 计测定法,容重和孔隙度采用环刀法,有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法;全氮测定采用半微量开氏法;全磷测定采用 HClO₄ 和

H₂SO₄ 消煮法。数据统计与分析采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 16.0 软件完成。

表1 采样断面基本情况

Tab.1 Basic information of investigation sections

断面	名称	海拔/m	纬度	经度	坡度	土壤类型
I	渠口	150 ~ 170	N31°08.726'	E108°30.433'	30°	黄壤土
II	养鹿	150 ~ 170	N31°05.764'	E108°35.059'	22°	黄壤土
III	高阳	150 ~ 170	N31°05.159'	E108°40.080'	21°	紫色土
IV	黄石	150 ~ 170	N31°00.671'	E108°42.480'	30°	紫色土
V	双江	150 ~ 170	N30°57.155'	E108°39.140'	27°	紫色土

2 结果与分析

2.1 消落区土壤的物理性状及其变化

2009 年小江流域消落区土壤容重平均值为 1.47 g/cm³,变化范围为 1.15 ~ 1.68 g/cm³,沿程上游至下游 5 个断面的均值依次为 1.30、1.47、1.56、1.49 和 1.57 g/cm³,呈递增趋势;土壤孔隙度平均值为 45%,变化范围为 37% ~ 61%,沿程上游至下游 5 个断面的均值依次为 50.79%、45.36%、43.34%、41.0% 和 41.13%,呈递减趋势(见图 2)。

5 月,高程 150 m 与 170 m 处的土壤容重和孔隙度均值接近,160 m 处的土壤容重均值略低、孔隙度均值略高;7 月,150 m 处的土壤容重均值下降、孔隙度均值增加较多,160 m 处的土壤容重均值增加较

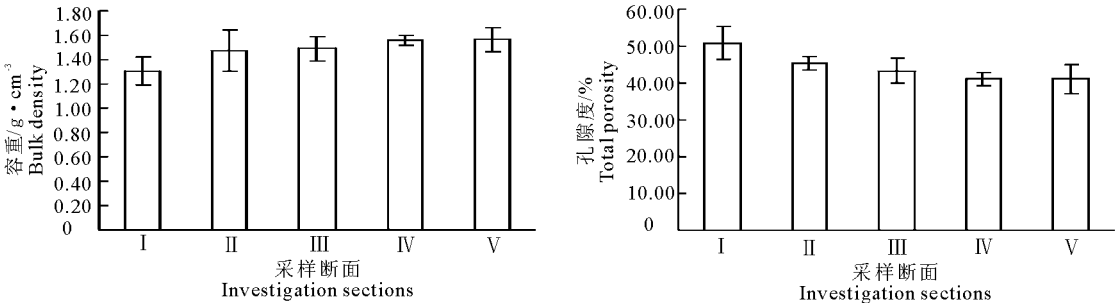


图2 小江流域消落区各采样断面土壤物理性状

Fig.2 Soil physical characters in water-level-fluctuation zone in Xiaojiang Watershed

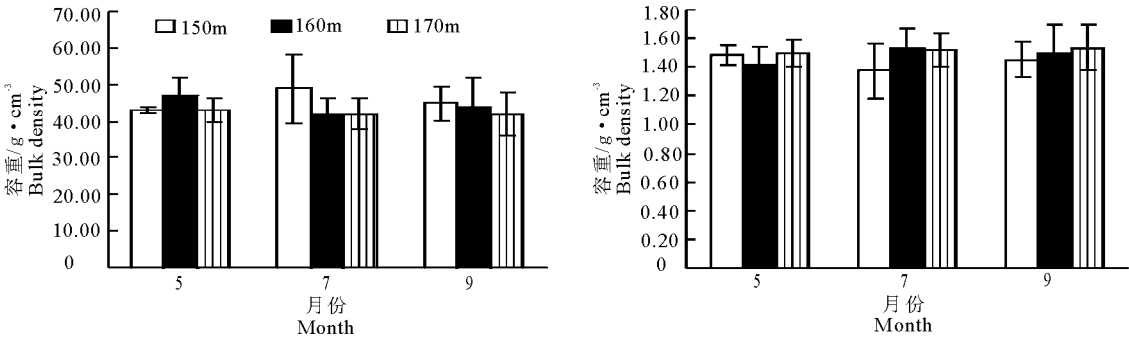


图3 小江流域消落区不同高程土壤物理性状随时间的变化

Fig.3 Change of soil physical characters at different elevation under time-dependent loading in water-level-fluctuation zone in Xiaojiang Watershed

多、孔隙度均值下降较多,170 m处的土壤容重均值略有增加、孔隙度均值下降较多,且160 m与170 m处的土壤容重和孔隙度均值均较接近;9月,150 m处的土壤容重均值增加、孔隙度均值下降,160 m处的孔隙度略有增加,其他变化不大(见图3)。总体来看,随时间进程,不同高程消落区的土壤容重和孔隙度均值呈相反的变化趋势,海拔高的样地土壤容重高、孔隙度低,可能土壤裸露时间长导致土壤温度及水分的变化是其主要因素。

2.2 消落区土壤的化学性状及其变化

2009年小江流域消落区土壤pH的总体平均值为7.33,变化范围为4.04~8.72,流域沿程上游至下游5个断面的均值依次为7.67、8.02、6.40、7.16和7.42,其中养鹿站较高,高阳站较低;土壤有机质总体平均值为16.42 g/kg,变化范围为6.64~35.69 g/kg,流域沿程上游至下游5个断面的均值依次为20.99、16.62、19.74、10.36和13.64 g/kg,其中黄石最低,渠口最高;土壤全氮总体平均值为0.79 g/kg,变化范围为0.40~1.42 g/kg,流域沿程上游至下游5个断面的均值依次为0.90、0.76、0.94、0.64和0.68g/kg,其中黄石最低,高阳最高;土壤全磷总体平均值为0.59 g/kg,变化范围为0.36~0.94 g/kg,流域沿程上游至下游5个断面的均值依次为0.56、0.52、0.53、0.68和0.71g/kg,其中养鹿最低,双江最高(见图4)。

土壤pH在5月随海拔高程的升高而增加,随土壤裸露时间的延长,高程150 m处的土壤pH在7月、9月均增加,高程160 m处的土壤pH在9月略

有下降,170 m处的土壤pH基本无变化;土壤有机质在5月随着海拔高程升高而降低,高程150 m处和170 m处土壤有机质在7月和9月变化不大,而160 m处土壤有机质在7月有所下降;各月份土壤全氮均在高程150 m处最高,170 m处次之,160 m处最低,各高程土壤全氮均在7月升高、9月下降;土壤全磷5月在高程150 m处较高,160 m和170 m的土壤全磷接近,都较低,7月全磷在高程150 m处变化不大、在9月有所下降,160 m和170 m处土壤全磷在7月有所升高、在9月略有下降(见图5)。

2.3 消落区土壤理化指标的统计性描述

中位数和均值是反映样本中心趋向分布的一种测度,而标准差和变异系数则表示样本的变异程度(王军等,2002)。2009年小江流域消落区土壤理化指标的统计性描述分析结果见表2。由表2可知,除土壤pH外,土壤容重、孔隙度、有机质、全氮和全磷均表现为平均值大于中数,其中,有机质均数和中数相差较大,表明土壤有机质的中心趋向为非正态分布。土壤理化指标中变异系数最大的为有机质,达到39.0%,其次为全氮、全磷。母岩、气候、地形、植被和人类活动干扰等因素影响土壤的理化特性(张希彪和上官周平,2006),因此,导致消落区土壤的空间异质性。

3 讨论

3.1 小江消落区土壤容重和孔隙度的影响因素

土壤容重和孔隙度是土壤物理性质的基础,也是评价土壤结构特征的重要指标。土壤容重大小与

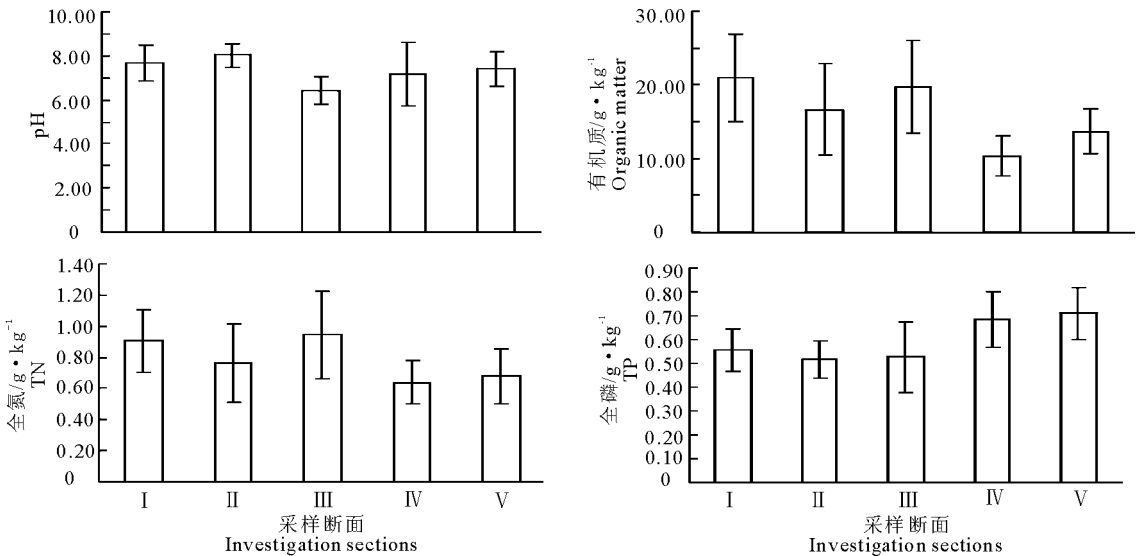


图4 小江流域消落区各采样断面土壤化学性状

Fig.4 Soil chemical characters in water-level-fluctuation zone of Xiaojiang Watershed

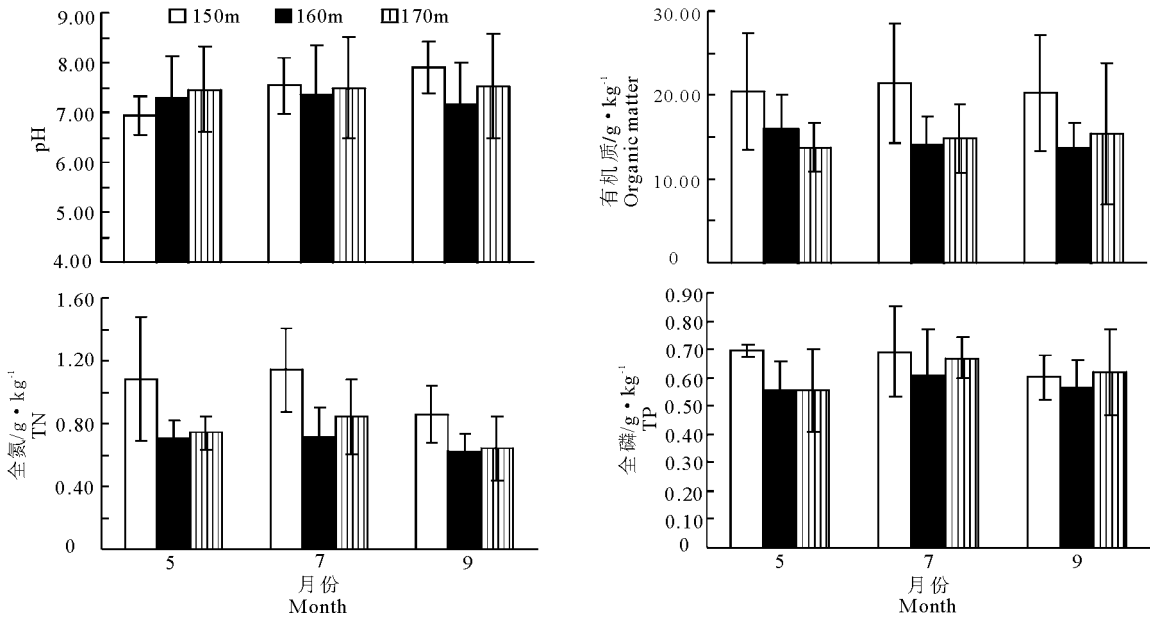


图5 小江流域不同高程消落区土壤化学性状随时间的变化

Fig. 5 Change of soil chemical characters at different elevation under time-dependent loading in water-level-fluctuation zone of Xiaojiang Watershed

表2 小江流域消落区土壤理化性状的统计性描述 (n=52)

Tab. 2 Descriptive statistical results of soil physical and chemical properties in water-level-fluctuation zone in Xiaojiang Watershed (n=52)

项目	pH	容重	孔隙度	有机质	全氮	全磷
均值	7.33	1.47	0.45	16.42	0.79	0.59
中位数	7.54	1.51	0.43	15.32	0.75	0.58
标准差	1.04	0.14	0.06	6.40	0.24	0.13
变异系数/%	14.2	9.8	12.9	39.0	30.4	22.4
方差	1.08	0.02	0.00	40.95	0.06	0.02
偏度	-0.92	-0.56	0.89	0.84	0.65	0.45
最大值	8.72	1.68	0.61	35.69	1.42	0.94
最小值	4.04	1.15	0.37	6.64	0.40	0.36

土壤颗粒组成、有机质含量等有关,受人类活动影响较大(张希彪等,2006)。孔隙度决定着土壤的水力学特性,影响入渗、贮存和排水等物理过程(孙利军等,2007)。一般认为,周期性的淹水会对土壤容重和孔隙度造成一定程度的影响(王晓荣等,2010)。尽管小江消落区受三峡水库蓄水淹没和出露期间相关因素的影响,但其土壤容重和孔隙度的空间和时间变化不大。在较大的空间尺度上,由于母岩、地质历史、气候、地形和生物等的不同,导致土壤性质存在明显的差异(Kosmas, 1993),而小江消落区土壤的母岩、利用类型及植被覆盖等在整个空间尺度上有类似性,因此,各个采样断面土壤容重和孔隙度差异并不明显,自下游往上游,小江消落区土壤容重呈递减趋势,孔隙度呈递增趋势;随着海拔的升高,土

壤容重呈递增趋势,孔隙度呈递减趋势。

3.2 小江消落区土壤有机质的影响因素

土壤有机质是土壤植物养分循环的中心,影响水分关系和侵蚀潜力,是土壤结构中的一个关键因子。小江消落区土壤有机质自下游往上游呈递增趋势,随着海拔的升高呈递减趋势。土壤有机质空间和时间变化同土壤容重、孔隙度等物理性质的变化具有较明显的相关性,这是由于有机质的变化是土壤物理性质变化的主要原因,有机质含量增加,一方面改善了土壤结构,使容重减少,孔隙度增加;另一方面也改善了土壤的胶体状况,使土壤的吸附作用增强(张希彪,2006)。有机质含量空间上的差异性可能是由于消落区土壤原有的利用类型和人为干扰程度不同造成的;而时间上的差异一方面是由于消落区现有植物的生长会吸取土壤中的一部分养分,使其有机质含量降低,另一方面是由于降雨和地表径流的影响,也会使土壤有机质含量发生变化。

3.3 小江消落区土壤全氮和全磷的影响因素

土壤的全氮、全磷含量直接反映营养成分的潜在供给能力,其含量主要决定于植物养分循环过程和土壤的成土母岩类型(主要是磷)(蒋文伟, 2004)。小江消落区土壤全氮时空变化与有机质一致,全磷在上游较低,下游较高,在海拔 160 m 处较低,150 m 和 170 m 处较高。土壤中全氮的变化取决于氮素输入和输出量的相对大小,天然土壤有机质的输入量主要依赖于有机残体归还量的多少及有

机残体的腐殖化系数,而氮素的输入量则主要依赖于植物残体的归还量及生物固氮。小江消落区全氮在低海拔区域明显高于高海拔区域,在水库蓄水初期,除与其背景值有关外,还与高海拔区域土壤全氮和全磷等营养成分流失较大有关。此外,由于低海拔区域土壤淹水时间较长,短时间的干湿交替周期有利于消落区土壤脱氮,而长期的淹水或者较长干湿交替周期则不利于消落区土壤脱氮(Smith,1979; Verhoeven,1994)。小江消落区土壤全磷5月低海拔区域明显高于高海拔区域,7月和9月高海拔区域土壤全磷增加或回落可能与地表径流及植物生长有关。

整体来看,三峡水位蓄水至172.8 m后,小江消落区土壤理化性状在时空上有一定的变化差异,呈现出一定的变化趋势。一般而言,周期性的淹水会使得消落区土壤对营养物质的机械吸收、阻留、理化吸附、沉淀和生物吸收等过程会更加活跃,另一方面加速了土壤养分的释放、运动和扩散过程(范小华等,2006)。同时,流域水文变化、植被、土壤背景和地表径流等因素的也会影响到土壤理化性状的改变,需开展连续动态全面的监测工作,摸清消落区土壤在周期性干湿交替的条件下的理化特征和变化趋势,为消落区的植被恢复和生态环境建设提供更多的科学依据。

参考文献

- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社. 23-373.
- 范小华,谢德体,魏朝富. 2006. 水、土环境变化下消落区生态环境问题研究. 农业资源与环境科学, 22(10): 373-379.
- 蒋文伟,周国模,余树全,等. 2004. 安吉山地主要森林类型

- 土壤养分状况的研究. 水土保持学报, 18(4):73-77.
- 孙利军,张仁陟,黄高宝. 2007. 保护性耕作对黄土高原旱地地表土壤理化性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 25(6): 207-211.
- 王长庭,龙瑞军,王启基,等. 2005. 高寒草甸不同海拔梯度土壤有机质氮磷的分布和生产力变化及其环境因子的关系[J]. 草业学报, 14(4):15-20.
- 王军,傅伯杰,邱扬. 2002. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 22(8): 1173-1178.
- 王晓荣,程瑞梅,肖文发,等. 2010. 三峡库区消落带初期土壤养分特征[J]. 生态学杂志, 29(2):281-289.
- 袁辉,王里奥,胡刚,等. 2008. 三峡库区消落带受淹土壤氮和磷释放的模拟实验[J]. 环境科学研究, 21(1):103-106.
- 詹艳慧,王里奥,焦艳静. 2006. 三峡库区消落带土壤氮素吸附释放规律[J]. 重庆大学学报:自然科学版,29(8): 10-13.
- 张希彪,上官周平. 2006. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 26(11): 3685-3695.
- Kosmas C, Danalatos N, Moustakas N, et al. 1993. The impact of parent material and landscape position on drought and biomass production of wheat under semi-arid condition[J]. Soil Technology, 6:337-349.
- Smith C M, Tiedje J M. 1979. Phases of denitrification following oxygen depletion in soil[J]. Biol. Biochem., 11:261-267.
- Verhoeven J A, Whigham D F, Kerkhoven M Y. 1994. Comparative study of nutrient-related processes in geographically separated wetlands: towards a science base for functional assessment procedure [M]//William J M. Global Wetlands: Old World and New. Columbus: Elsevier Press: 91-106.

(责任编辑 杨春艳)

Soil Physical and Chemical Properties in Water-level-fluctuation Zone in Xiaojiang Watershed in Three Gorges Reservoir

ZHENG Zhi-wei¹, ZOU Xi¹, AN Ran², ZHANG zhi-yong¹, HU Lian¹, WAN cheng-yan¹, HU Hong-qing²

(1. The Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources & Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China;

2. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In 2009, fixed-location monitoring for soil physical and chemical properties was made in water-level-fluctuation zone in Xiaojiang Watershed at 5 investigation sites from the upper reaches to the lower reaches in May, July and September. The results showed that the mean values and variation ranges of bulk density, total porosity, pH, Organic Matter(OM), TN and TP were 1.47 (1.15 – 1.68) g/cm³, 45% (37.0% – 61.0%), 7.33 (4.04 – 8.72), 16.42 (6.64 – 35.69) g/kg, 0.79 (0.40 – 1.42) g/kg and 0.59 (0.36 – 0.94) g/kg respectively. At the elevation of 150 m, the mean value of soil bulk density decreased in July and increased in September; at the altitude of 160 m, mean value of soil bulk density increased in July and changes little in September; basically, the mean value change of soil total porosity at different elevation was opposite to soil bulk density. At the elevation of 160 m, the mean value of soil OM decreased in July, and changed little in September; Soil TN and TP at each elevation tended to increase in July and decline in September. At last, preliminary analysis of influence factors causing soil physical and chemical properties changes in water-level-fluctuation zone was carried out.

Key words: Three Gorges Reservoir; Xiaojiang Watershed; water-level-fluctuation zone; soil physical and chemical properties