

三峡库区消落区蓄水前土壤养分分布特征

叶琛^{1,2,3}, 程晓莉^{1,2}, 张全发^{1,2*}

(1.中国科学院 武汉植物园, 湖北 武汉 430074; 2.中国科学院 水生植物与流域生态重点实验室, 湖北 武汉 430074;
3.中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:为研究 175 m 蓄水前三峡库区消落区土壤养分分布特征, 选择 12 个采样区, 采用野外调查和室内分析相结合的方法, 研究表明土壤呈中性偏碱性, pH 值为 6.93 ~ 7.91, 全磷、全钾、有效钾和铵态氮的含量分布比较集中, 差异较小; 有效磷、有机质、全氮和硝态氮比较分散, 差异较大。土壤类型和土壤粒级对土壤养分含量会产生重要影响。主成分分析和聚类分析将研究区大致分为 4 类: 土壤综合养分较高型、土壤贫瘠型、有效磷含量较高型和全磷、全钾含量较高型, 并针对不同类型的土壤分别提出改善措施。本研究为三峡库区消落区的生态环境保护和土地资源的合理规划提供一定的指导意义。

关键词:三峡水库; 消落区; 土壤养分; 主成分分析

中图分类号 S158.3 文献标识码: A 文章编号: 0564-3945(2011)06-1404-07

三峡工程是我国、也是世界上最大的水利枢纽工程, 水库正常蓄水位 175 m, 总库容 $3.93 \times 10^{10} \text{ m}^3$; 水库全长 600 多 km, 水库面积 1084 km², 消落区面积达 350 km², 库区的面积达 58000 km^{2[1,2]}。消落区是库区陆域与水域生态系统的交错带, 也是库区生态系统的敏感区和脆弱区, 其地质、地貌、土壤、气候和生物群落复杂多变, 在保障水库水质水资源安全等方面起着极为重要的作用。地表植被是消落区生态功能的主要体现者和实现载体, 在稳定水库坡岸、维持水体水质和构建流域景观等方面发挥着不可替代的作用。土壤养分是植被赖以生存的物质基础, 正常蓄水后, 淹水—落干过程会使消落区土壤养分含量发生变化, 从而影响消落区植被的生长和分布。此外, 在消落区陆域与水域物质、能量的转移和交换频繁, 消落区土壤中的营养物质(可溶性氮磷等)会进入库区水体, 影响水库水质。因此, 开展三峡库区消落区 175 m 以下土壤养分的长期定位监测显得尤为重要。

目前关于三峡库区土壤养分方面的研究不多, 如韩庆忠等^[3]研究了秭归县水田坝乡脐橙园土壤有机质, 养分元素变化与土壤酸化过程的关系, 董杰等^[4]研究了三峡库区丰都县紫色土坡地土壤养分贫瘠化特征, 许其功等^[5]研究了三峡库区秭归县张家冲小流域的耕作措施对土壤侵蚀和养分流失的影响等。但少见关于三峡库区消落区土壤养分的研究, 尤其是有关三峡库区消落区蓄水前后土壤养分动态变化方面的研究。为了研究三峡水库 175 m 蓄水, 淹水—落干对土

壤养分含量的影响, 选择了上起重庆市巴南区, 下至湖北省秭归县 145 ~ 175 m 水位线间的受人为干扰较小的 68 个采样点作为长期定位监测点, 分析土壤养分(土壤有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、有效钾、铵态氮和硝态氮)含量的变化, 必将进一步完善现有的“长江三峡工程生态与环境监测系统”, 为“长江三峡工程生态与环境监测公报”和评价三峡工程的生态环境影响提供重要的科学数据。本文分析了 175 m 蓄水前消落区土壤养分的分布特征, 旨在为进一步研究淹水对土壤养分含量变化影响提供前期数据, 同时为决策者采取有效措施保证库区水质安全提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 采样方法

采样区位于三峡库区的长江干流, 包括巴南、渝北、长寿、涪陵、丰都、忠县、万洲、云阳、奉节、巫山、巴东、秭归等 12 个区县, 依据长江水流方向, 将 12 个采样区分为上游地区, 巴南至涪陵, 中游地区, 丰都至云阳, 下游地区, 奉节至秭归。每个采样区在长江两岸并分 3 个海拔区间 (145 ~ 155 m, 155 ~ 165 m, 165 ~ 175 m) 随机取样, 样地选在受人为干扰较小的荒地或者撂荒地上, 采样区植被类型为草本和灌木, 土壤类型主要为紫色土、黄壤、水稻土和石灰土, 其中采样点中大于 54% 为紫色土, 32% 为黄壤, 4% 为水稻土, 8% 为石灰土。除巴南地区水位较高只取 2 个样点外, 其余地区均取 6 个样点, 共计 68 个样点。取样层次为 0

收稿日期 2010-04-16, 修订日期 2010-08-29

基金项目 国务院三峡建设委员会办公室(SX2008-005)资助

作者简介 叶琛(1985-), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为土壤环境监测与土壤 N 循环。E-mail: yechen922@sina.com

* 通讯作者 E-mail: qzhang@wbcas.cn

~ 20 cm,每个样点设置 4 次重复,将 4 次重复的土样去除植物根系和石块,充分混匀并用四分法取大约 1 kg 的土样带回实验室分析。采样时间为蓄水前 2008 年 8~9 月。采样图如图 1。

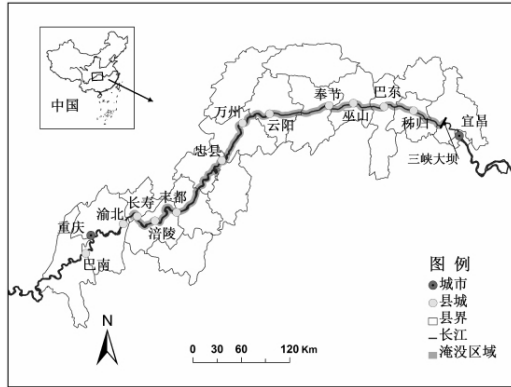


图 1 采样点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling sites

1.2 分析的指标和方法

分析的项目包括土壤有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、有效钾、铵态氮和硝态氮。具体的分析方法:有机质,重铬酸钾容量法;全氮,半微量开氏法;全磷,

钼锑抗比色法;全钾,火焰光度法;有效磷,钼锑抗比色法;有效钾,火焰光度法^[6];铵态氮和硝态氮采用流动注射分析仪法。

1.3 数据分析与统计方法

本文通过描述性统计、方差分析、相关分析、主成分分析和聚类分析对数据进行分析,数据处理均采用 Excel、SPSS 13.0 进行。在方差分析中,方差齐性用 Levene 进行检验,通过数据转换有效磷、有效钾和全钾含量值也达到了方差齐性。

2 结果分析

2.1 三峡库区消落区土壤养分分布特征

三峡库区消落区 12 个采样区土壤养分平均含量分布特征如表 1。土壤 pH 值在 6.93~7.91 之间,呈中性偏碱性,有机质在 9.53~31.95 g kg⁻¹ 之间,全氮在 0.49~2.66 g kg⁻¹ 之间,全磷在 0.34~1.04 g kg⁻¹ 之间,全钾在 8.45~18.11 g kg⁻¹ 之间,有效磷在 2.85~23.85 mg kg⁻¹ 之间,有效钾 56.96~99.32 mg kg⁻¹ 之间,铵态氮在 10.54~26.29 mg kg⁻¹ 之间,硝态氮在 5.17~25.75 mg kg⁻¹ 之间。

表 1 三峡库区消落区土壤养分特征

Table 1 Characteristics of soils in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir

采样区 Sites	pH	有机质 O. M. (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	全钾 Total K (g kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	有效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)
巴南	7.02	9.53	0.49	0.80	8.45	3.38	67.60	14.11	5.17
渝北	7.43	12.86	0.70	0.72	9.05	5.20	84.22	18.25	7.10
长寿	7.69	12.46	0.78	0.71	10.90	8.57	96.18	18.52	8.28
涪陵	7.17	20.84	1.20	0.62	11.68	4.59	66.57	24.72	13.66
丰都	7.07	24.96	1.84	0.52	9.26	5.78	77.56	26.29	16.77
忠县	7.14	13.41	1.03	0.51	12.46	9.23	69.75	16.94	12.77
万州	6.93	14.58	0.80	0.73	11.30	23.85	60.70	16.68	15.50
云阳	7.74	11.79	1.63	1.04	18.11	3.34	74.73	19.37	13.66
奉节	7.80	29.42	2.41	0.56	9.62	6.75	99.32	14.92	25.75
巫山	7.91	31.95	2.66	0.49	11.35	2.85	77.39	20.59	19.68
巴东	7.60	30.64	1.54	0.34	10.55	3.26	56.96	16.28	8.59
秭归	7.63	16.43	0.92	0.48	10.87	4.24	64.17	10.54	11.74
均值	7.43	19.07	1.33	0.63	11.13	6.75	74.59	18.10	13.22
标准差	0.34	8.15	0.69	0.18	2.50	5.77	13.27	4.36	5.78
变异系数(%)	4.58	42.74	51.88	28.57	22.46	85.48	17.79	24.09	43.72

注 粗体值为各指标的最大值。

从统计结果显示,变异系数为有效磷 > 全氮 > 硝态氮 > 有机质 > 全磷 > 铵态氮 > 全钾 > 有效钾 > pH,有效磷的变异系数最大为 85.48%,其最高含量是最低含量的 8.3 倍多,全氮、硝态氮、有机质的变异系数也较大,分布较分散,呈现中下游地区含量高,上游地区含量低的空间分布格局。全氮和有机质的最大值出现在下游地区巫山,最低值为上游巴南地区,硝态

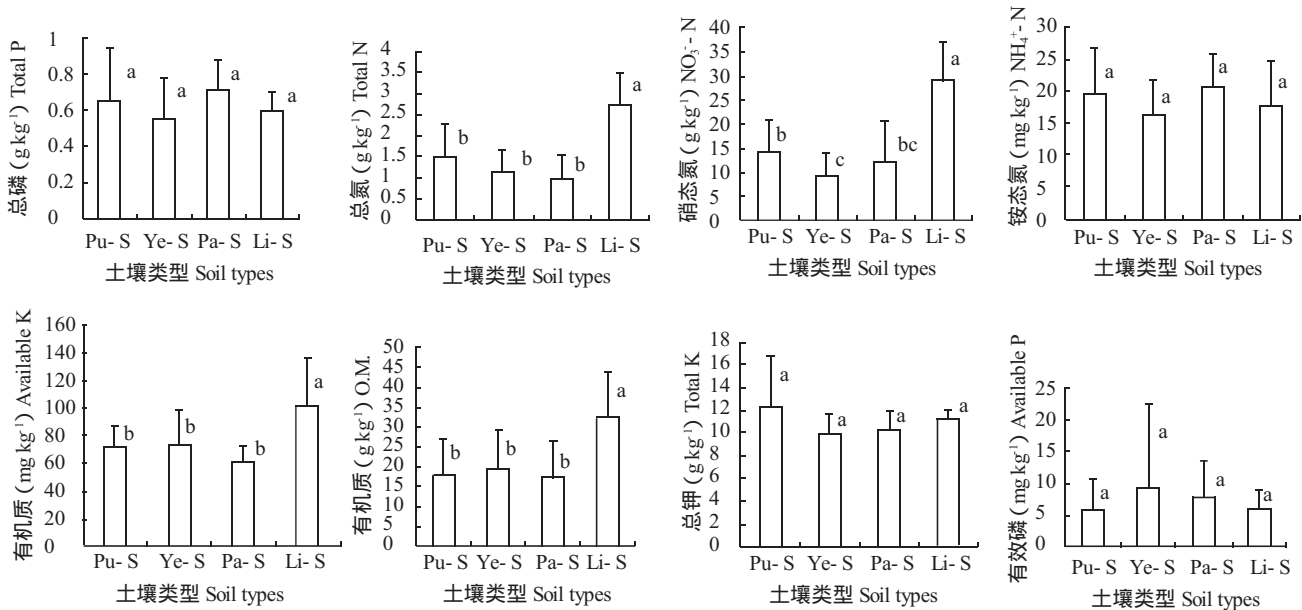
氮最高值分布在奉节,最低值为上游巴南地区;全磷、铵态氮、全钾和有效钾变异系数较小,分布较集中。从有效养分(有效磷、有效钾、铵态氮和硝态氮)含量的分布来看,最高值分布在中游或者下游地区,最低值分布在上游或坝区(秭归)。

2.2 不同土壤类型土壤养分含量

三峡库区消落区 12 个采样区不同土壤类型土壤

养分含量见图 2。总磷、铵态氮、总钾和有效磷含量受土壤类型的影响较小,石灰土中的总氮、硝态氮、有效钾和有机质含量与紫色土、黄壤和水稻土中的含量有显著差异,并且以石灰土中含量最高。在紫色土、黄壤

和水稻土中总氮、有效钾和有机质含量没有显著差异,但是紫色土与黄壤中硝态氮含量有显著差异,紫色土高于黄壤。



注 多重比较采用最小显著性差异(LSD)法,不同字母(a, b, c)表示含量具有显著差异,显著水平为 0.05。Pu-S 紫色土, Ye-S 黄壤; Pa-S: 水稻土, Li-S 石灰土。

图 2 不同土壤类型土壤养分含量的方差分析
Fig. 2 Variance analysis of soil nutrients' content under different soil types

2.2 三峡库区消落区土壤养分与土壤粒级的相关分析

将三峡库区消落区 12 个采样区表层土壤粒级分为砂粒(1 ~ 0.05 mm)、粗粉粒(0.05 ~ 0.01 mm)、细粉粒(0.01 ~ 0.005 mm)、粗粘粒(0.005 ~ 0.001 mm)和细粘粒(<0.001 mm)5 级^[7],其分布如图 3 所示,砂粒含量为上游和坝区(秭归)高,中游地区低(除万州);粗粉粒在各个采样区分布较均匀,含量为 30%左右,细粉粒、粗粘粒和细粘粒均是中游地区高,上游和坝区(秭归)含量低。

从三峡库区消落区 12 个采样区土壤养分与土壤粒级的相关分析(表 2)可以得知,砂粒含量与有机质、全氮、全钾和硝态氮呈显著负相关;细粉粒含量与全氮和全钾呈显著正相关;粗粘粒含量与有机质、全氮、全钾和硝态氮呈显著正相关;细粘粒含量与有机质和全氮呈显著正相关,与全磷呈显著负相关。

表 2 土壤养分与土壤粒级的相关分析
Table 2 The correlation between soil nutrients and soil particle size

	砂粒 Sand	粗粉粒 Coarse silt	细粉粒 Fine silt	粗粘粒 Coarse clay	细粘粒 Fine clay
有机质	-0.365**	-0.056	0.157	0.296*	0.464**
全氮	-0.437**	-0.092	0.326**	0.483**	0.419**
全磷	0.273*	0.213	-0.014	-0.236	-0.510**
全钾	-0.392**	0.298*	0.504**	0.311**	0.092
有效磷	0.253*	-0.295*	-0.098	-0.037	-0.199
有效钾	0.119	-0.142	-0.079	-0.053	-0.050
铵态氮	0.123	-0.147	0.008	0.037	-0.158
硝态氮	-0.271*	-0.042	0.238	0.312**	0.223

注 *表示在 0.05 水平显著相关, **表示在 0.01 水平显著相关。

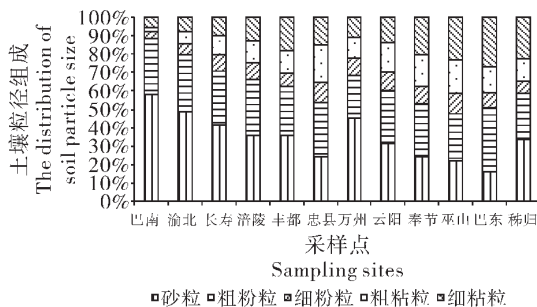


图 3 采样区土壤各粒级百分含量
Fig. 3 The soil particle size distribution in the sampling sites

2.3 三峡库区消落区土壤养分的主成分分析

土壤养分是一个多指标体系,而每一个特定的指标只能描述某一侧面,主成分分析(Principal compo-

ment analysis)就是一种把多元变量化为少数几个独立的综合变量的统计方法,在损失少量信息的条件下,大幅度降低信息维数,使人们容易认识研究对象的数量规律^[9]。

为分析各个因子对土壤肥力的影响次序,研究中采用主成分分析对三峡库区消落区 12 个采样区 68 个采样点的土壤养分进行分析。为避免计算结果受变

量纲和数量级不同的影响,在进行运算前对原始数据进行标准化处理。通过 SPSS 13.0 计算得出三峡库区消落区土壤养分的相关系数矩阵(表 3),KMO (Kaiser-Meyer-Olkin measure)和 Bartlett 球型检验(Bartlett's test of sphericity)的值分别为 0.561 和 195.837(df = 28, P = 0.000 < 0.001)说明利用主成分分析进行降维是有效的^[9,10]。

表 3 三峡库区消落区土壤养分相关系数矩阵

Table 3 Matrix of the correlation coefficients of soil nutrients in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir

	有机质 O.M	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	有效磷 Available P	有效钾 Available K	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N
有机质	1							
全氮	0.808	1						
全磷	-0.33	-0.024	1					
全钾	-0.195	0.127	0.550	1				
有效磷	-0.066	-0.079	0.182	-0.236	1			
有效钾	0.287	0.353	0.131	-0.021	-0.005	1		
铵态氮	0.493	0.400	-0.008	-0.147	0.146	0.259	1	
硝态氮	0.388	0.470	0.135	0.243	-0.062	0.264	0.022	1

按照特征值大于 1 的原则^[9,10],在土壤养分的主成分分析中提取了 3 个主成分,其累积贡献率达到了 70.216%(表 4),说明这 3 个主成分反映了全部指标 70% 以上的信息在第一主成分中有机质、全氮、有效钾、铵态氮和硝态氮的载荷系数都在 0.50 以上,并且是正向负荷,对第一主成分值的贡献比较大,因此第一主成分代表土壤综合养分;对于第二主成分,全磷和全钾的载荷系数较大,分别为 0.882 和 0.824,所以第二主成分反映土壤的磷钾肥水平;第三主成分中,有效磷肥的贡献最大,其载荷系数为 0.856,而且是正向负荷,因此第三主成分代表土壤的有效磷肥。

表 4 三峡库区消落区土壤养分的主成分特征表

Table 4 The principal component features of soil nutrients in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir

	成分组成 Component		
	1	2	3
有机质	0.869	-0.357	-0.072
全氮	0.900	0.019	-0.108
全磷	-0.036	0.882	0.296
全钾	0.044	0.824	-0.33
有效磷	-0.059	0.027	0.856
有效钾	0.560	0.160	0.207
铵态氮	0.578	-0.182	0.465
硝态氮	0.606	0.342	-0.255
特征值	2.598	1.771	1.248
贡献率(%)	32.478	22.135	15.603
累计贡献率(%)	32.478	54.612	70.216

注:粗体值代表较高的因子载荷。

土壤养分的主成分综合得分反映了各采样点土壤肥力状况(表 5),综合得分越高,表明土壤越肥沃。

处于长江中游地区的云阳的综合得分最高,并且第二主成分占主导作用,说明云阳地区土壤全磷、全钾含量较高,处于上游的巴南区 and 坝区的秭归县综合得分均较低,这与上游地区有机质含量低,以及上游和坝区有效养分含量低有关。

表 5 三峡库区消落区各采样点土壤养分主成分得分及综合得分

Table 5 The principal component scores of soil nutrients in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir

采样区 Sites	第一主成分 Component 1 scores	第二主成分 Component 2 scores	第三主成分 Component 3 scores	综合得分 Integrate scores	综合得分排序 Rank
巴南	-1.171	-0.037	0.155	-0.519	11
渝北	-0.618	-0.087	0.435	-0.216	9
长寿	-0.426	0.239	0.653	0.024	7
涪陵	0.093	-0.098	0.086	0.031	6
丰都	0.721	-0.524	0.226	0.219	4
忠县	-0.468	0.017	-0.023	-0.216	8
万州	-0.584	0.399	1.280	0.140	5
云阳	-0.032	1.798	-0.150	0.518	1
奉节	1.207	-0.016	-0.406	0.463	2
巫山	1.205	-0.335	-0.664	0.304	3
巴东	0.011	-1.051	-0.761	-0.495	10
秭归	-0.720	-0.331	-0.728	-0.599	12

以各采样点土壤养分主成分得分作为聚类变量,按欧式距离平方进行聚类,聚类结果见图 4。拟定临界值取 10 时,可以将这 12 个采样区土壤养分分为 4 类:第一类包括奉节、巫山和丰都,属于第一主成分占主导作用,为土壤综合养分较高型,土壤的养分较均匀;第二类包括巴东和秭归,为土壤贫瘠型,需要加强土壤的改良;第三类包括渝北、长寿、涪陵、忠县、巴南和万州,属于第三主成分占主导作用,为有效磷含量

较高型,但土壤的综合养分含量偏低,在土地利用时,要补充氮和钾的含量,筛选合适的植被物种;第四类包括云阳地区,属于第二主成分占主导作用,为全磷和全钾含量较高型,但也要加强有效养分的含量。

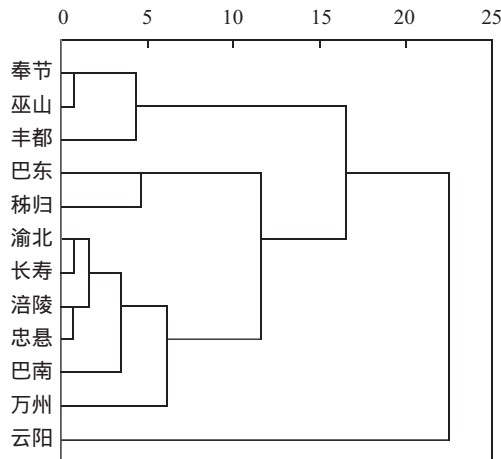


图 4 各采样点土壤养分主成分系统聚类图

Fig. 4 Dendrogram produced by cluster analysis showing sites groupings with similar nutrient status

3 讨论

3.1 三峡库区消落区土壤养分的空间分布格局

三峡库区消落区 12 个采样区土壤养分分布呈现中游和下游地区含量较高(全磷、全钾、有效磷、铵态氮最高值分别出现在中游云阳、万州和丰都地区,有机质、全氮、有效钾、硝态氮最高值分别出现在下游地区巫山和奉节),上游和坝区含量较低(有机质、全氮、全钾、硝态氮最低值出现在上游巴南地区,全磷、有效钾、铵态氮最低值分别出现在坝区巴东和秭归)的空间分布格局(表 1),这可能与土壤粒级有关。上游和坝区砂粒含量高,中游和下游含量低(除万州外),细粉粒、粗粘粒和细粘粒均是中游地区高,上游和坝区含量低(图 3)。这主要是因为物理性砂粒的颗粒大,比表面积小,土粒表面的电荷密度小,其吸湿性、胀缩性、可塑性和保肥性等都很弱,所以与土壤养分含量成负相关(表 2)。土壤有机质和全氮与细粘粒的含量呈显著正相关,这主要是因为土壤有机质与土壤粘粒结合成有机-无机复合体,粘粒含量越高,土粒与有机质结合成复合体的机会越大,有机质含量就越高^[7]。土壤氮素主要存在于土壤有机质中,土壤有机氮一般占土壤氮素的 90% 以上^[11],所以土壤全氮含量与土壤有机质变化一致。

土壤养分含量还与土壤类型有关(图 2)。从对三峡库区消落区土壤类型调查中发现,中游地区大部分

为紫色土,下游地区奉节和巫山为石灰土,上游和坝区(巴东和秭归)为黄壤,黄壤一般质地粘重,透水性差,易产生地表径流^[12];而紫色土透水性较好,具有成土母质钾素含量高的特点^[13],石灰土中的总氮、硝态氮、有效钾和有机质含量均高于紫色土、黄壤和水稻土。此外,在坝区两岸坡度陡峻,更容易发生山体滑坡等地质灾害,土层浅薄,植被覆盖率低,土壤中的有机物迅速分解而缺乏补给,土壤养分含量低^[5]。同时,土壤养分的这种空间分布格局与土壤的背景值有关,中游地区原先为农耕地,由于长期的耕作使土壤富含 N、P 等营养物质和有机质。最具有代表性的就是万州地区,其有效磷的含量远高于其它地区,这可能与万州地区长期发达的农业有关^[14],大量的使用磷肥,造成土壤磷含量比其它地区高。

3.2 三峡库区消落区土壤肥力状况

通过对研究区土壤养分进行主成分分析,得出土壤养分的综合得分,利用综合得分表征土壤的肥力状况。土壤养分综合得分呈现中游和下游地区较高,上游和坝区得分低的特点,中游和下游地区土壤比较肥沃,而上游和坝区土壤较贫瘠。该结果与土壤养分分布格局相一致,进一步佐证了土壤养分具有明显的空间变异特征,土壤养分是构成土壤肥力的物质基础,影响土壤养分分布的因素会直接或间接影响土壤肥力。

通过对各个地区土壤养分的聚类分析,将 12 个采样区土壤养分分为 4 类(图 4):第一类包括奉节、巫山和丰都,处于中游和下游地区,为土壤综合养分较高型,应保护和丰富这些地区的植被物种,保护生物多样性。但土壤氮(全氮、铵氮、硝氮)含量偏高,根据有关三峡库区消落带淹水-落干过程土壤氮释放模拟研究结果表明,淹水-落干后土壤吸附氮的能力增加,土壤吸附氮量也增加,但是当吸附一定量氮后,淹水时土壤向上覆水释放氮的强度也增大^[15],因此对于这些含氮量偏高的地区,无疑是影响三峡库区水体水质的隐患,积极有效的采取相关的保护措施势在必行。第二类包括巴东和秭归,位于坝区,为土壤贫瘠型,这可能与这些地区频繁的地质灾害,养分流失严重有关,因此需要结合工程种植一些固土耐贫瘠的植物,减少水土流失,保持养分;第三类包括渝北、长寿、涪陵、忠县、巴南和万州,为有效磷含量较高型。根据有关三峡库区消落带淹水-落干过程土壤磷释放模拟研究结果表明,淹水-落干后土壤吸附磷的能力增加,土壤吸附磷量也增加,但是当吸附一定量磷后,淹水时土壤向上覆水释放磷的强度也增大^[16],因此对于这些土壤磷含量高的地区在淹水时可能会释放磷到

上覆水中,增加三峡水库磷素的负荷,势必会增加三峡水库水体富营养化的风险。因此要结合当地的生态环境和经济特点采取有效的措施,保护库区的水质。第四类包括云阳地区,为全磷和全钾含量较高型,该地区位于中游,具有长期耕作史,土壤中化肥的残留量高,需要种植一些固氮固磷的植物,减小土壤氮磷含量,避免对库区水质造成影响。

4 结论

综上,本研究的主要结论为:

(1)三峡库区消落区 12 个采样区土壤 pH 值在 6.93 ~ 7.91 之间,呈中性偏碱性。土壤养分含量呈中游和下游地区含量高,上游和坝区含量低的空间分布格局。

(2)从土壤养分与土壤粒级的相关分析看,大部分养分与土壤粒级存在显著关系,其中砂粒含量与有机质、全氮、全钾和硝态氮呈显著负相关,细粉粒含量与全氮和全钾呈显著正相关;粗粘粒含量与有机质、全氮、全钾和硝态氮呈显著正相关,细粘粒含量与有机质和全氮呈显著正相关,与全磷呈显著负相关。

(3)从不同土壤类型土壤养分的方差分析看,土壤类型成为影响土壤养分含量的重要因素,其中石灰土中的总氮、硝态氮、有效钾和有机质含量与紫色土、黄壤和水稻土中的含量有显著差异,并且以石灰土中含量最高。

(4)从主成分分析看,第一、二、三主成分累积贡献率达 70.216%,可用作土壤养分特性的概括。有机质、全氮、有效钾、铵态氮和硝态氮对第一主成分贡献较大,全磷和全钾对第二主成分贡献较大,而有效磷对第三主成分贡献较大,因此,第一主成分代表了土壤综合养分,第二主成分反映土壤全磷、全钾水平,而第三主成分代表土壤有效磷水平。

(5)通过对三峡库区消落区各采样区土壤养分主成分的系统聚类,可以将 12 个采样区分为 4 类:第一类为土壤综合养分较高型,包括奉节、巫山和丰都;第二类为土壤贫瘠型,包括巴东和秭归;第三类为有效磷含量较高型,包括渝北、长寿、涪陵、忠县、巴南和万州;第四类为全磷、全钾含量较高型,包括云阳地区。根据各种类型土壤养分的特点,结合当地的生态环境

和经济发展状况,实现植被的自然恢复或者采取生物工程措施恢复植被,保护生物多样性,使消落区净化水质的功能得到充分的发挥。

致谢:卢志军、黄汉东、李连发、陶敏等参加了野外调查,卢志军参与了文章的修改指导工作,在此深表感谢!

参考文献:

- [1] 许书军,魏世强,谢德体. 三峡库区耕地重金属分布特征初步研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 64 - 66.
- [2] 黎莉莉,张 晟,刘景红,等. 三峡库区消落区土壤重金属污染调查与评价[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 127 - 130.
- [3] 韩庆忠,夏立忠,向 琳,等. 三峡库区脐橙园土壤养分、酸度变化特征与施肥管理对策——以秭归县水田坝乡为例 [J]. 土壤, 2008, 40(4): 602 - 607.
- [4] 董 杰,罗丽丽,杨达源,等. 三峡库区紫色土坡地土壤退化特征: 土壤养分贫瘠化[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(6): 58 - 64.
- [5] 许其功,席北斗,沈珍瑶,等. 耕作措施对三峡库区土壤侵蚀和养分流失的影响[J]. 生态与农业环境学报, 2007, 23(3): 41 - 45.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [7] 刘钦普,林振山,周 勤. 华北黄泛平原潮土土壤养分与土壤粒级的关系研究[J]. 土壤肥料, 2006, (2): 26 - 30.
- [8] 苏永红,冯 起,刘 蔚,等. 额济纳三角洲土壤养分特征分析[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 133 - 138.
- [9] SINGH K P, MALIK A, SINHA S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India) using multivariate statistical techniques: a case study[J]. Analytical Chimica Acta, 2005, 538: 355 - 374.
- [10] PEKEY H, KARAKAS D, BAKOGLU M. Source apportion of trace metals in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49: 809 - 818.
- [11] 于仁,王振全. 土壤分析化学[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [12] 冯孝杰,魏朝富,谢德体,等. 周期性淹水对消落区水土环境的影响及控制对策[J]. 农业资源与环境科学, 2005, 10(21): 356 - 360.
- [13] 王洪杰,李宪文,史学正,等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 44 - 50.
- [14] 唐 将,王世杰,付绍红,等. 三峡库区土壤环境质量评价 [J]. 土壤学报, 2008, 45(4): 601 - 607.
- [15] 詹艳慧,王里奥,詹艳静. 三峡库区消落带土壤氮素吸附释放规律[J]. 重庆大学学报, 2006, 29(8): 10 - 13.
- [16] 王里奥,黄 川,詹艳慧,等. 三峡库区消落带淹水 - 落干过程土壤磷吸附 - 解析及释放研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(5): 593 - 597.

Characteristics of Soil Nutrient Distribution in the Water–Level–Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir, China

YE Chen^{1,2,3}, CHENG Xiao-li^{1,2}, ZHANG Quan-fa^{1,2*}

(1. Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China;

2. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China.)

Abstract: The rational use of land resources of the water-level-fluctuation zone in the Three Gorges Reservoir principally depends on the soil nutrient quality. In this study, principal component analysis and cluster analysis were performed to analyze soil nutrients of 68 soil samples collected in 12 sites in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir. The results indicated that 1) the pH values of soils ranged from 6.93 to 7.91; Total P, K, available K and ammonium nitrogen (N) showed little variation in the reservoir region, while large variations of the total N, available P, nitrate N and organic matter contents were observed in the reservoir region; 2) There existed significant relationship between nutrients in soil and various soil granule contents. The soil types in the study areas were important factors for soil nutrient contents; 3) Three principal components were obtained by using principal component analysis, which represented the total P, K and the available P level of soil, respectively; 4) Cluster analysis classified the 12 sampling sites into four groups representing balanced soil nutrient, lean soil, high content of available P and high content of soil P and K, respectively. The study could provide critical database for the land-use planning and management for the water-level-fluctuation zone in the reservoir region.

Key words: Three Gorges Reservoir; Water-Level-Fluctuation Zone; Soil nutrient; Principal component analysis