

艾比湖主要补给河流下游河岸带土壤养分特征

王勇辉^{1,2}, 陈升², 焦黎^{1,2}

(1. 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002; 2. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

摘要:以博尔塔拉河、精河下游河岸带不同植被覆盖条件下的土壤为研究对象,定量测定土壤中有有机质与全氮、全磷、全钾的含量并进行统计分析,结果表明:两河下游河岸带土壤有机质、全氮含量呈现出较强的表聚性;博尔塔拉河下游河岸带土壤有机质与全氮含量之间存在显著相关性,与全磷、全钾相关性不强,精河下游河岸带土壤有机质与全氮、全磷、全钾相关性较强;空间变异特征显示:两河下游河岸带土壤各养分指标均表现为中等空间变异特征;对两河下游河岸带土壤养分指标测定结果进行对比,发现博尔塔拉河下游河岸带土壤养分含量高于精河下游河岸带土壤,但养分含量总体偏低。同时,因土壤类型及养分条件的不同,地表植物群落组成差异明显。

关键词:土壤; 养分特征; 博尔塔拉河; 精河

中图分类号:S153.6⁺1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)02-0043-05

Soil Nutrient Characteristics in River Riparian Zone of Main Supply Rivers in Lake Ebinur

WANG Yong-Hui^{1,2}, CHEN Sheng², JIAO Li^{1,2}

(1. *Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi*

830002, China; 2. School of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: Soil samples from the riparian zone of Bohe River and Jinghe River in the Ebinur Lake Basin were taken and analyzed. The organic matter, total N, total P and total K contents were measured under different conditions of vegetation coverage. By the method of statistical analysis, the results showed that the level of soil organic matter and the nitrogen content in the soil displayed the characteristics of top-down vertical differentiation, and the accumulation of salt in the surface soil was significant; The results of correlation analysis show that there existed a significant correlation between the amount of soil organic matters and the total N in different soil layers, but soil organic matter, the total P, and total K had little correlation in every soil layer in riparian zone of Bohe river; there existed a significant correlation between the amount of soil organic matter and the total N, total P, total K in the riparian zone of Jinghe river; the soil nutrient spatial variability characteristics in two rivers downstream riparian showed moderate spatial variation. The soil nutrient status showed soil nutrient content in River riparian of Bohe was higher than the Jinghe, but the overall level was low. Meanwhile, composition of plant communities in surface was significantly various due to the different soil type and nutrient conditions.

Key words: soil; nutrients characteristics; Behe River; Jinghe River

在土壤养分循环中,碳、氮、磷元素作为生命元素驱动着其他养分元素的循环与转化,是养分元素循环的核心。因此,通过研究土壤养分元素的动态变化,

对了解不同植被类型土壤肥力和营养元素循环机制具有重要意义^[1-5]。同时,土壤养分是土壤质量的重要评价指标,前人针对土壤养分做过许多研究,例如

收稿日期:2012-09-24

修回日期:2012-10-24

资助项目:中国沙漠气象科学研究基金“艾比湖干涸湖底疏松裸土区表层土壤特征与沙尘天气关系研究”(Sq2011009);国家自然科学基金“艾比湖湿地生态环境演变及生态恢复研究”(41171036);新疆师范大学优秀青年教师科研启动基金项目“艾比湖干涸湖底表层土壤盐分现状及成因分析”(XJNU1013)

作者简介:王勇辉(1977—),男,新疆奎屯人,讲师,博士研究生,主要研究方向为干旱区资源利用与环境演变。E-mail:wyhsd_3011@163.com

通信作者:焦黎(1963—),男,新疆乌鲁木齐人,教授,主要从事干旱区土壤环境的相关研究。E-mail:jiaolixjsd@sina.com

胡江玲等^[6]对精河流域不同土地利用方式下的土壤质量进行测试,结果表明天然绿洲的土壤养分含量高于人工绿洲的土壤养分;杨晓梅等^[7]对子午岭地区不同林地土壤有机碳及养分储量特征进行研究,发现土壤中的有机碳随着剖面的加深含量递减,表聚性显著,同时土壤中有机碳与氮含量相关性很强;腊贵晓等^[8]对喀斯特地区烟田土壤养分空间变异特征进行研究,发现该区域土壤空间变异均呈中等变异,同时利用克里格差值法对该区域养分进行空间分布分析,结果表明因立地条件及人为影响导致该区域的养分空间分布规律不显著。上述研究对于了解土壤养分循环及探寻其动态变化规律意义重大。

新疆艾比湖作为干旱区典型的内陆封闭盐湖,环境退化问题非常突出,成为近年来的研究热点^[9-18]。博尔塔拉河、精河是艾比湖的主要补给水源,其变化直接牵动着艾比湖的动态变化,进而影响艾比湖流域乃至整个北疆地区的人居环境。此外,博尔塔拉河、精河下游河岸带位于阿拉山口大风吹过的主通道上,常年受到沙尘天气的影响。本研究拟通过野外调查采样和分析,综合应用土壤地理学、分析化学、统计学等研究手段,对博尔塔拉河、精河下游河岸带的土壤养分特征进行分析,以期为该地区生态恢复及防沙抗沙提供科学参考。

1 研究区概况

博尔塔拉河古称博罗塔拉郭勒,位于新疆博尔塔拉蒙古自治州境内,地理位置为东经 $79^{\circ}53'$ — $83^{\circ}53'$,北纬 $44^{\circ}02'$ — $45^{\circ}23'$ 。东北部与塔城地区托里县相连,南部与伊犁哈萨克自治州相邻,西部、北部以别珍套山和阿拉套山为界,与哈萨克斯坦共和国接壤。干流经温泉县、博乐市,最后注入艾比湖,源头至入湖口河流全长 252 km。精河发源于天山中段的婆罗科努山北坡,北流注入艾比湖,地理位置位于东经 $93^{\circ}45'$ — $94^{\circ}18'$,北纬 $43^{\circ}00'$ — $43^{\circ}10'$,整个流域位于精河县境内。精河源区为现代冰川作用区和永久积雪覆盖区,分布有冰川 129 条,冰川融水占精河水量的 20.40%。

博、精河流域土壤有 8 个土类(灰棕漠土、灰漠土、灌耕土、潮土、草甸土、沼泽土、风沙土、盐土)、13 个亚类、17 个土属、36 个土种和 76 个变种。地表植被沿博尔塔拉河、精河至艾比湖入湖口呈条带状分布,靠近入湖口地段植被茂密,远河道处生长稀疏,盐生或盐化的植被呈斑块状分布于该地区,共有盐生植

物 6 属,分别为怪柳属(*Tamarix*)、碱蓬属(*Suaeda*)、盐节木属(*Halocnemum*)、芦苇属(*Phragmites*)、枸杞属(*Lycium*)和芨芨草属(*Achnatherum*)。研究区内主要植被有怪柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb)、碱蓬(*Suaeda glauca* Bunge)、盐节木(*Chenopodiaceae*)、芦苇(*Phragmites australis*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)等。

2 材料与方法

2.1 样品采集

根据不同土壤类型的空间分布特点,按照代表性原则,将采样点布设于河岸带,即分别沿博尔塔拉河、精河下游河岸带从入湖口至距入湖 12 km 和 7 km 处采样。采用不锈钢螺旋土钻,21 个采样点,6 层即,表层(0—10 cm),10—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 分别进行采样,共采集样品 99 个(个别土壤采集了 4 层或 5 层)。采样时用 GPS 记录采样点的经纬度坐标及高程,并详细记录采样点周围的景观信息^[19]。样品经自然风干后,剔除石块、植物根茎、人为侵入物等,进行土壤有机质及全氮、全磷、全钾含量的测定。

2.2 实验方法及数据处理

将土样风干后研磨,依次过 1.0,0.25 mm 孔径筛后,混匀装袋。有机质(Organic matter, OM)采用重铬酸钾法测定;全氮(Total N)采用元素分析仪测定;全磷(Total P)采用碳酸钠熔融法测定;全钾(Total K)采用原子吸收法测定。数据处理采用 Excel 及 SPSS 17.0。

3 结果与分析

3.1 博尔塔拉河下游河岸带土壤养分特征分析

3.1.1 博尔塔拉河下游河岸带不同土层养分分布特征 不同植被覆盖条件下土壤养分的垂直变化规律(表 1)显示:多数样点有机质含量随着土壤剖面的加深,呈下降趋势,表聚特征明显,4,6,8 号采样点自 20 cm 至土壤底层下降趋势明显。各样点全氮量自 20—40 cm 有下降趋势,60—80 cm 下降趋势明显。0—20 cm 处氮含量相对较高。随着土壤剖面深度的增加,全磷含量波动较大。不同植被覆盖条件下,土壤全磷的变化很小并且很均匀,说明不同植被类型对土壤全磷影响较小。全钾含量大多呈现表聚现象,自 20 cm 后,全钾含量变幅不大。

表 1 博尔塔拉河下游河岸带不同土壤层次有机质、全氮、全磷、全钾含量 %

土层/ cm	样号 1				样号 2				样号 3				样号 4				样号 5			
	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾
0—10	0.19	0.05	0.28	0.21	0.16	0.07	0.30	0.20	0.74	0.09	0.31	0.21	0.76	0.08	0.29	0.20	4.19	0.52	0.34	0.22
10—20	0.31	0.05	0.34	0.21	0.22	0.05	0.20	0.20	0.95	0.11	0.28	0.21	1.17	0.10	0.19	0.20	1.06	0.18	0.35	0.19
20—40	0.11	0.04	0.25	0.22	0.24	0.05	0.30	0.20	0.38	0.06	0.31	0.22	0.85	0.10	0.31	0.20	0.82	0.14	0.22	0.21
40—60	0.29	0.06	0.20	0.21	0.19	0.05	0.30	0.20	0.15	0.04	0.31	0.22	0.48	0.07	0.30	0.20	0.14	0.09	0.22	0.21
60—80	0.18	0.05	0.32	0.20	0.16	0.04	0.40	0.20	0.20	0.05	0.27	0.20	0.21	0.04	0.18	0.20	0.73	0.08	0.22	0.21
土层/ cm	样号 6				样号 7				样号 8				样号 9							
	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾				
0—10	0.22	0.07	0.33	0.22	0.15	0.04	0.25	0.19	0.67	0.12	0.31	0.15	1.09	0.06	0.33	0.21				
10—20	0.44	0.08	0.31	0.21	0.27	0.05	0.35	0.18	0.32	0.07	0.33	0.20	0.58	0.04	0.23	0.23				
20—40	0.31	0.08	0.34	0.21	0.14	0.05	0.33	0.19	0.31	0.08	0.25	0.21	0.24	0.05	0.22	0.22				
40—60	0.24	0.06	0.32	0.20	0.18	0.05	0.17	0.18	0.24	0.08	0.32	0.21	0.20	0.05	0.25	0.21				
60—80	0.05	0.05	0.34	0.20	0.05	0.06	0.24	0.20	0.03	0.07	0.11	0.21	0.14	0.05	0.18	0.22				

3.1.2 博尔塔拉河下游河岸带不同土层养分指标统计特征 由表 2 的极值显示:土壤有机质含量区间为 0.03%~4.19%。变异系数为 0.86,当变异系数小于 10%时,表明变量具有较弱的空间变异性,当变异系数介于 10%~100%时,表明变量具有中等的空间变异,当变异系数大于 100%时,表明变量具有强烈的空间变异;艾比湖博尔塔拉河入湖口至博尔塔拉河三岔口,土层有机质变异系数在 10%~100%之间,具有中等空间变异特征。土壤全氮含量的极值区间为 0.04%~0.52%,变异系数为 0.16,具有中等空间变异特征。全磷含量极值区间为 0.11%~0.36%,各层次间相差不大;变异系数为 0.22,呈现中等空间变异特征。全钾含量的极值变化区间为 0.15%~0.23%,变幅不大;变异系数为 0.08,呈现较弱的空间变异特征。

表 2 土壤养分特征值统计

项目	最小 值/%	最大 值/%	均值/ %	标准差	极差	变异 系数
有机质	0.03	4.19	0.46	0.45	1.35	0.86
全 氮	0.04	0.52	0.08	0.05	0.55	0.16
全 磷	0.11	0.36	0.28	0.06	0.16	0.22
全 钾	0.15	0.23	0.21	0.01	0.05	0.08

3.1.3 博尔塔拉河下游河岸带不同土层养分指标相关性分析 由表 3 可知,有机质与全氮在 0.01 水平上显著正相关,相关系数为 0.893;有机质与全磷、全钾的相关性不强,相关系数分别为-0.128 和 0.137;全氮与全磷、全钾的相关性也不显著,相关系数分别为-0.221 和 0.075;全磷与全钾的相关系数为-0.458,相关性不显著。

3.2 精河下游河岸带土壤养分特征分析

3.2.1 精河下游河岸带不同土层养分分布特征 由表 4 可以看出,艾比湖精河入口处土壤中有机质含量较小,20 cm 处相对较大。全磷、全钾变化规律不明

显。全氮含量表聚特征显著。养分的变化趋势体现了植被对养分积累的表聚性,其中有机质、全氮表现最为明显,它与地表覆盖植被的根系深度关系密切,根系相对较浅时,在近地表中吸收转移走的养分较多,造成该层各养分逐渐减少。而覆盖植被为胡杨林等深根植物时(如样点 4),在土壤深层吸收转移走的养分较多,于是就表现出在 40—60 cm 土层各养分逐渐减少。

表 3 土壤养分之间的相关矩阵

项目	有机质	全氮	全磷	全钾
有机质	1.000			
全 氮	0.893**	1.000		
全 磷	-0.128	-0.221	1.000	
全 钾	0.137	0.075	-0.458	1.000

注:* * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关;* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

3.2.2 土壤养分统计特征分析 由表 5 可知,各养分指标存在明显的空间分布差异。极值分析结果显示:土壤有机质含量区间为 0.12%~0.53%;土壤全氮含量的极值区间为 0.03%~0.07%,各层含量变化较小。全磷含量极值区间为 0.16%~0.32%。全钾含量的极值变化区间为 0.18%~0.21%,变幅不大。标准差显示:全氮与全磷分别为 0.04 和 0.06,全钾标准差为 0.03,说明全钾含量较为稳定。变异系数分析结果显示:全钾变异系数为 0.07,呈现较弱的空间变异特征,其它各养分变异系数均在 10%~100%之间,具有中等空间变异特征。

3.2.3 不同植被覆盖下土壤养分的相关性分析 对土壤养分变化的相关性分析(表 6)表明,土壤有机质与全氮、全磷与全钾相关度高,相关系数均超过 0.7,在 0.05 水平上显著相关;有机质与全钾、全磷相关度超过了 0.5,相关性较强;而与其它养分间相关系数均低于 0.5,但均呈现出正相关关系。

表 4 精河河下游河岸带不同土壤层次有机质、全氮、全磷、全钾含量

%

土层/ cm	样号 1				样号 2				样号 3				样号 4				样号 5			
	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾
0—10	0.73	0.09	0.26	0.22	0.14	0.03	0.17	0.19	0.58	0.06	0.16	0.20	0.30	0.05	0.19	0.20	0.11	0.14	0.15	0.20
10—20	0.58	0.04	0.22	0.20	0.35	0.04	0.13	0.20	0.42	0.04	0.29	0.21	0.28	0.03	0.16	0.18	0.25	0.03	0.15	0.20
20—40	0.19	0.04	0.38	0.21	0.18	0.03	0.20	0.19	0.13	0.02	0.19	0.20	0.11	0.03	0.14	0.15	0.40	0.03	0.29	0.19
40—60	0.27	0.04	0.21	0.20	0.06	0.02	0.20	0.17	0.10	0.02	0.13	0.19	0.17	0.01	0.11	0.19	0.35	0.06	0.26	0.19
60—80		0.03	0.33	0.22		0.02	0.20	0.16		0.02	0.19	0.20		0.04	0.18	0.18		0.03	0.21	0.18
土层/ cm	样号 6				样号 7				样号 8				样号 9							
	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾	有机质	全氮	全磷	全钾				
0—10	0.25	0.02	0.29	0.17	0.22	0.03	0.30	0.21	0.14	0.07	0.26	0.16	0.09	0.03	0.21	0.18				
10—20	0.23	0.03	0.38	0.18	0.90	0.05	0.23	0.21	0.38	0.04	0.23	0.19	0.13	0.03	0.21	0.18				
20—40	0.21	0.03	0.29	0.19	0.46	0.06	0.27	0.20	0.18	0.06	0.14	0.19	0.13	0.03	0.13	0.19				
40—60	0.21	0.03	0.18	0.20	0.31	0.04	0.15	0.21	0.07	0.05	0.20	0.18	0.11	0.03	0.10	0.19				
60—80		0.04	0.29	0.22		0.04	0.14	0.19		0.05	0.19	0.18		0.03	0.17	0.18				

表 5 土壤养分统计特征值

指标	极小 值/%	极大 值/%	均值/ %	标准差	极差	变异 系数
有机质	0.12	0.53	0.3	0.14	0.41	0.46
全 氮	0.03	0.07	0.04	0.01	0.04	0.32
全 磷	0.16	0.32	0.22	0.06	0.16	0.25
全 钾	0.18	0.21	0.19	0.01	0.03	0.07

表 6 土壤养分相关矩阵

项目	有机质	全氮	全磷	全钾
有机质	1.000			
全 氮	0.711*	1.000		
全 磷	0.522	0.430	1.000	
全 钾	0.691	0.342	0.715*	1.000

注：* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

3.3 博尔塔拉河、精河河下游土壤养分含量对比分析

博尔塔拉河和精河下流河岸带各点土壤有机质、全氮、全磷、全钾平均含量分别为：0.46%和 0.30%，0.08%和 0.04%，0.28%和 0.22%，0.21%和 0.19%，对比发现，博尔塔拉河下游河岸带土壤各养分指标含量高于精河下游河岸土壤。由土壤有机质及全氮、全磷、全钾相关性分析可知：在博尔塔拉河下游河岸带，土壤中有机质含量与土壤中的全氮含量显著相关，而有机质含量与全钾含量相关性较小，与全磷呈负相关；在精河河下游河岸带，土壤中有机质含量与全氮、全磷、全钾均呈正相关，相关性较强。

博尔塔拉河与精河河下游河岸带的土壤类型以盐土为主，在湖滨区有少量的草甸土。地表生长的植被多为怪柳、胡杨、芦苇、盐节木、盐角草、梭梭等耐盐植被。因距离湖的远近不同，土壤的盐分及养分条件也会发生空间变化，对植物群落组成影响较大，两河下游河岸带植被与土壤的关系如下：湖滨积水及养分条件较好的盐土上发育了芦苇沼泽，地下水下降的区域则为芦苇草甸，向外分布的有怪柳、盐节木以及一

些 1 a 生的盐生植被。在入湖口附近，表层土壤强烈盐化，优势植物多为怪柳，伴生一些芦苇。在土壤盐渍化进一步加重的区域，则生长着盐节木、盐角草等植被。尽管博尔塔拉河和精河下游河岸带土壤的养分特征存在差异，但总体而言，这两个区域的土壤养分含量较低。

4 结 论

(1) 博尔塔拉河下游河岸带土壤养分特征为：随着土壤剖面深度的加深，土壤中有机质、全氮含量有降低的趋势，表聚现象明显，这是由于研究区地表盐生植被对土壤有机质具有明显的累积作用。土壤中的全磷、全钾含量在不同植被覆盖条件下变化不大；土壤各养分指标的空间变异系数多数在 10%~100%之间，属中等空间变异特征；相关性分析表明，土壤有机质与全氮具有显著正相关关系，而与全磷、全钾相关性较小。

(2) 精河河下游河岸带土壤养分特征为：各养分指标含量低于博尔塔拉河下游河岸带土壤；土壤中的全磷、全钾含量在不同植被覆盖条件下变化不明显，与博尔塔拉河的变化规律一致；土壤各养分指标的空间变异系数多数在 10%~100%之间，属中等空间变异特征；相关性分析显示，土壤有机质与全氮、全磷、全钾均呈现正相关，相关性较强。

(3) 两河下游河岸带土壤以盐土为主，植被也多为盐生植物。但因土壤养分、盐分及其局部水分条件的差异，致使地表植物建群种和优势种差异明显。养分、水分条件好的土壤，植被以乔木、灌木为主，而养分、水分条件较差的土壤则以耐盐碱的小半灌木和盐柴类植被为主。

(4) 通过博尔塔拉河、精河河下游河岸带土壤养分的对比分析，发现博尔塔拉河下游河岸带土壤养分

含量高于精河河下游河岸带土壤,但就两河下游河岸带土壤养分的总体评价而言,二者养分含量均较低,这可能与研究区常年受到阿拉山口大风影响,大量的盐尘降落在此处,致使土壤盐渍化加剧关系密切。此外,两河上游是农业生产区,人为干扰也可能是土壤养分较低的重要原因之一。

参考文献:

- [1] 毋兆鹏. 博尔塔拉河、精河流域绿洲土壤异质性及其驱动力研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 81-86.
- [2] 古丽格娜·哈力木拉提, 木合塔尔·吐尔洪, 于坤, 等. 喀什葛尔河流域盐渍化土壤盐分特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 169-173.
- [3] 孔红岭, 孙明高, 孔艳菊, 等. 盐分、干旱及其交叉胁迫对皂角幼苗生长性状的影响[J]. 中南林业科技大学学报: 自然科学版, 2007, 27(1): 55-59.
- [4] 张勃, 孟宝, 郝建秀, 等. 干旱区绿洲荒漠带土壤盐异质性及生态环境效应研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 81-84.
- [5] 钱亦兵, 周华荣, 赵锐锋, 等. 塔里木河中下游湿地及其周边土壤理化性状的空间异质性[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 31-34.
- [6] 胡江玲, 张高, 赵枫, 等. 新疆精河流域不同土地利用方式对土壤质量的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 92-99.
- [7] 杨晓梅, 程积民, 孟蕾, 等. 子午岭不同林地土壤有机碳及养分储量特征分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 130-134.
- [8] 腊贵晓, 顾怀胜, 刘国顺, 等. 喀斯特地区烟田土壤养分的空间变异特征[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 48-53.
- [9] 傅德平, 袁月, 昌光辉, 等. 艾比湖湿地植物群落特征与土壤环境关系研究[J]. 江西农业学报, 2008, 20(5): 106-109.
- [10] 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁. 艾比湖地区土壤异质性及其对植物群落生态分布的影响[J]. 干旱区地理, 2003, 26(3): 217-222.
- [11] 徐欢欢, 曾从盛, 王维奇, 等. 艾比湖湿地土壤有机碳垂直分布特征及其影响因子分析[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2010, 26(5): 86-91.
- [12] 秦璐, 傅德平, 杨军, 等. 艾比湖湿地自然保护区典型群落土壤理化性质分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 144-151.
- [13] 谢正宇, 李文华, 谢正君, 等. 艾比湖湿地自然保护区生态系统服务功能价值评价[J]. 干旱区地理, 2011, 34(3): 532-540.
- [14] 孙丽, 高亚琪. 新疆艾比湖流域耕地面积变化对艾比湖湖面面积的影响分析[J]. 广西农业科学, 2010, 41(8): 848-852.
- [15] 李新琪, 朱海涌. 新疆艾比湖流域平原区景观土壤属性特征研究[J]. 新疆环境保护, 2009, 31(3): 10-14.
- [16] 杨晓东, 傅德平, 袁月, 等. 新疆艾比湖湿地自然保护区主要植物的种间关系[J]. 干旱区研究, 2010, 27(2): 249-256.
- [17] 弥艳, 常顺利, 师庆东, 等. 农业面源污染对丰水期艾比湖流域水环境的影响[J]. 干旱区研究, 2010, 27(2): 278-283.
- [18] 吐尔逊·吐尔洪, 吉力力·阿不都外力, 阿克拜尔·依拉洪, 等. 艾比湖盐尘对植物生理性状的影响[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 533-542.
- [19] 毛吉旦木·地力夏提, 王勇辉, 海米提·依米提. 博、精河下游河岸带土壤速效养分空间异质性分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 19-28.

(上接第42页)

- [15] 王庆改, 白军红, 张勇, 等. 湿地植物对土壤生态系统中氮含量变化的响应[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 164-167.
- [16] 唐述虞, 陈建国, 史建文. 凤眼莲在炼油废水中的生长及其净化作用[J]. 环境科学, 1996, 17(1): 44-46.
- [17] Anderson J M, Lneson P, Huish A C. Nitrogen and cation mobilization by soil fauna feeding on leaf litter and soil organic matter from deciduous wood lands[J]. Soil Biol. Biochem., 1983, 15(4): 463-467.
- [18] Royle R N, King R J. Aquatic macrophytes in Lake Liddell, New South Wales: biomass, nitrogen and phosphorus status, and changing distribution from 1981 to 1987[J]. Aquatic Botany, 1991, 41(4): 281-298.
- [19] Gusewell S, Koerselman W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2002, 5(1): 37-61.
- [20] Gusewell S. N : P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance[J]. New Phytologist, 2004, 164(2): 243-266.
- [21] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N : P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6): 1441-1450.