

# 博、精河下游河岸带土壤速效养分空间异质性分析

毛吉旦木·地力夏提, 王勇辉, 海米提·依米提

(新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:**以新疆博尔塔拉河、精河下游河岸带土壤为研究对象, 针对土壤中的有机质、碱解氮、速效磷、速效钾等指标进行定量测定, 运用地统计学方法分别对博尔塔拉河、精河流域土壤养分空间分布特征进行了分析。结果表明: 博尔塔拉河下游河岸带土壤有机质、碱解氮变异程度大于精河下游河岸带, 土壤速效磷、速效钾变异程度相近; 两河土壤速效养分垂直分异规律为: 土壤有机质、碱解氮含量均随土层深度的增加而递减; 水平分异规律为: 距离艾比湖入湖口越远, 土壤中速效养分平均含量越小。总体而言, 博尔塔拉河下游河岸带土壤速效养分高于精河下游河岸带土壤速效养分, 精河土壤养分空间异质性较小。

**关键词:**土壤速效养分; 空间异质性; 博尔塔拉河; 精河; 下游河岸带

中图分类号: S153.6<sup>+</sup>1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)06-0019-05

## Analysis of Spatial Heterogeneity of Soil Available Nutrients in Riparian Zone of Bohe and Jinghe River

Mawjud · Dilxat, WANG Yong-hui, Hamid · Yimit

(School of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

**Abstract:** Soils in Bohe and Jinghe River riparian were selected as samples. The soil organic matter, available N, available P and available K content under different types of vegetation were measured. Spatial distribution and statistical characteristics of soil nutrients of two riparians were analyzed by using the geostatistics. The results showed that variations of the soil organic matter, available N of Bohe river were greater than those in Jinghe river, variation of soil available P and available K was smaller. Vertical distribution rules of the soil available nutrients were characterized as that soil organic matter and available nitrogen content decreased with the increase of depth. Horizontal distribution rules of soil available nutrients demonstrated that the mean content of soil available nutrient was lower with the increase of distance from Ebinur lake. Overall, the soil available nutrient contents in Bohe river riparian zone were higher than those in Jinghe river, and the spatial heterogeneity of soil nutrients in Jinghe river was smaller.

**Key words:** soil available nutrients; spatial heterogeneity; Bohe river; Jinghe river; riparian zone

土壤是覆盖于地球表面具有一定肥力并能生长植物的疏松表层<sup>[1]</sup>, 由于受到成土母质、气候、生物、地形、时间等自然因素以及人为因素的共同作用, 不同地区的土壤特性迥异, 并且具有高度的空间变异性<sup>[2]</sup>。即使在土壤类型和质地相同的区域内, 同一时刻土壤特性在空间上也有明显的差异<sup>[3]</sup>。土壤养分是土壤提供的植物生长发育所必需的营养元素, 是土壤肥力的物质基础, 是土地评价和管理的重要指标之

一, 由于受到自然因素和人为因素的共同作用, 土壤养分也具有高度的空间变异性, 干旱区土壤资源广泛存在着空间异质性, 在气候条件一致的情况下, 土壤养分空间异质性决定了植被空间分布的差异<sup>[4-8]</sup>。因此, 土壤养分区域分异研究是区域规划和生态环境保护的重要基础工作<sup>[9-15]</sup>。新疆艾比湖作为干旱区典型的内陆封闭盐湖, 环境退化问题日益受到关注, 但关于干旱区湖泊湿地不同植被覆盖条件下土壤养分

收稿日期: 2012-05-04

修回日期: 2012-07-13

资助项目: 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); 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”(Sj2011009); 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: 毛吉旦木·地力夏提(1987—), 女(维吾尔族), 新疆伊犁人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区资源利用与环境演变。E-mail: 871213157@qq.com

特征的研究相对较少,博尔塔拉河、精河是艾比湖湖水的重要补给水源,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文环境;此外,这两河下游位于阿拉山口大风吹过的主通道上,常年受沙尘天气的影响,定量测定其土壤养分条件,可为该地区土壤恢复及防沙抗沙提供科学参考。本研究从微观角度,综合土壤地理学、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速效养分特征进行分析,以期为当地合理利用资源及生态环境建设提供科学依据。

1 概况及研究方法

1.1 研究区概况

新疆博尔塔拉河(简称博尔塔拉河或博河)、精河流域地处欧亚大陆腹地,为封闭性流域,总面积约 2.5 万 km<sup>2</sup>,其中产流山地面积约 1.3 万 km<sup>2</sup>,平原区面积约 1.2 万 km<sup>2</sup>,湖泊面积 0.054 2 万 km<sup>2</sup>,研究区国土总面积 0.78 万 km<sup>2</sup>。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,地理位置东经 79°53′—83°53′,北纬 44°02′—45°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,地理位置介于东经 93°45′—94°18′,北纬 43°00′—43°10′。整个流域位于精河县境内。精河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 个土壤类型(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,土壤分布既有典型的地带性,又具有明显的区域性。成土母质多为洪积物或洪积—冲积物,土壤普遍具有土层薄、土质粗、肥力贫瘠的特点。绿洲景观形成之前,是以荒草地、盐碱地和灌木林为主的原始荒漠景观,随着近半个世纪水利事业的发展和灌溉面积的不断増加,绿洲规模不断扩大,人类灌溉耕作活动改变了原来荒漠化成土过程的进程,加速了土壤熟化,土壤形态特征和理化特性也发生了很大的变化,生产性能得到了改善。

1.2 研究方法

根据不同土壤类型空间分布特点,参考土地资源系列图件,按照代表性原则,沿河岸带布设采样点,即分别沿博尔塔拉河、精河下游河岸带分别从入湖口至距入湖 12 km 和 7 km 处采样,共设采样点 21 个,采用不锈钢螺旋土钻,采集土壤样品 99 个,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(采样点坐标见表 1—2)。土样经自然风干后,剔除石块、植物根茎、人为侵入物等杂物,进行有机质和碱解氮、速效磷、速效钾等土壤速效养分因子含量的测定。

土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定;碱解氮的测定采用碱解扩散法;速效磷采用碳酸氢钠提取比色法测定;速效钾采用醋酸铵—火焰光度法测定。数据处理采用 Excel 及 SPSS 17.0 软件。

表 1 博尔塔拉河采样点及地表植被

序号	纬度	经度	海拔/m	地表植被
1 号	44°51′55″	82°44′32″	197	湖口淤泥地,少量盐角草(盖度不足 10%)
2 号	44°51′33″	82°44′20″	195	芦苇地(高度 1.5 m,密度较大)
3 号	44°50′46″	82°45′25″	191	碱蓬、盐节木(红色,密度大,盖度约 60%)
4 号	44°48′30″	82°42′00″	206	芦苇,柽柳(盖度约 30%,高度 1.5 m)
5 号	44°45′56″	82°39′13″	200	芨芨草、柽柳(盖度约 35%,高度 1.2 m)
6 号	44°45′14″	82°38′07″	207	芦苇地、柽柳(盖度约 30%,高度 1.5 m)
7 号	44°51′14″	82°44′16″	194	柽柳灌丛(盖度约 25%,高度 1.2 m)
8 号	44°50′52″	82°44′08″	197	柽柳灌丛(盖度约 25%,高度 1.2 m)
9 号	44°51′35″	82°41′46″	194	黑果枸杞(盖度约 30%,高度 0.3 m)
10 号	44°49′32″	82°43′47″	191	梭梭(盖度约 30%,高度 1.2 m)
11 号	44°45′14″	82°38′07″	207	芦苇地(盖度约 25%,高度 1.8 m)

2 结果与分析

2.1 土壤速效养分概况

2.1.1 博尔塔拉河下游河岸带土壤速效养分概况

调查样地中 92.9%的土壤样品有机质含量<1%,居全国第二次土壤普查分级标准五级以下(表 3),其中

77.4%的样品有机质含量<0.30%;仅有 10.50%的样品碱解氮含量>100 mg/kg,其中 89.4%的大于 20 mg/kg,相对于其他速效养分含量较高;32.80%的样品速效钾含量在全国第二次土壤普查分级标准四级以上。93.50%的样品中速效磷含量极低,亦在全国第二次土壤普查分级标准五级以下,集中在 2~4 mg/kg。

表 2 精河采样点及地表植被状况

序号	纬度	经度	海拔/m	地表植被及土壤特征
0 号	44°48'15"	82°53'13"	196	芦苇茂盛,约 2 m 以上(盖度不足 30%)
1 号	44°47'58"	82°53'06"	193	芦苇茂盛,芨芨草混合分布(盖度不足 30%)
2 号	44°47'30"	82°52'55"	202	多为草甸,淤积土(盖度不足 25%)
3 号	44°46'56"	82°52'10"	205	胡杨林,柽柳灌丛(盖度不足 20%)
4 号	44°50'13"	82°49'29"	193	湖底淤积泥沙层,无植被
5 号	44°50'05"	82°49'32"	193	柽柳灌丛为主(盖度不足 15%)
6 号	44°49'58"	82°50'45"	189	盐节木,土壤盐渍化严重(盖度不足 10%)
7 号	44°48'40"	82°53'23"	189	芦苇,高度约为 1m 左右(盖度不足 20%)
8 号	44°49'02"	82°54'04"	192	盐角草为主(盖度不足 10%)
9 号	44°48'58"	82°54'10"	192	芦苇地(盖度不足 20%)

2.1.2 精河下游河岸带土壤速效养分概况 精河下游河岸带土壤速效养分状况劣于博尔塔拉河下游河岸带,有机质含量均低于 1%,其中 54.30%的土壤样品有机质含量小于 0.30%。84.90%的样品中速效磷含量极低,为全国第二次土壤普查分级标准六级;82.6%的土壤样品中的速效钾含量均在全国第二次土壤普查分级标准五级以下,多数在 30~40 mg/kg。

表 3 全国第二次土壤普查土壤分级标准

级别	有机质/ 养分指标	有机质/ %	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
1		>4	>150	>40	>200
2		3~4	120~150	20~40	150~200
3		3~2	90~120	10~20	100~150
4		1~2	60~90	5~10	50~100
5		0.6~1	30~60	3~5	30~50
6		<0.6	<30	<3	<30

2.2 土壤速效养分空间异质性分析

2.2.1 博、精河河下游河岸带土壤速效养分空间分布统计特征分析 按照反映离散程度的变异系数大小可进行土壤质量的变异性分级。通常认为变异系数≤10%时为弱变异,介于 10%~100%为中等变异,而≥100%为强变异<sup>[16]</sup>。从计算结果(表 4)来看,博尔塔拉河下游土壤养分变异情况各有不同:其中速效磷变异最小,100 cm 土层变异较大;有机质变异最大,表层变异系数达到 142.33%;碱解氮变异程度次于有机质,表层变异亦最大;土壤各层速效钾变异程度都属中度变异,60 cm 处变异最小;土壤表层,20,40,80 cm 处变异程度为有机质>速效钾、碱解氮>速效磷,土层 60 cm 处变异程度为碱解氮>有机质>速效钾、速效磷,100 cm 处土层变异程度为有机质>速效钾>速效磷、碱解氮;平均含量表现为速效磷最贫乏,速效钾、碱解氮差异不大在 83.08~22.94 mg/kg,有机质含量相对较低。

表 5 表明,精河下游河岸带土壤养分变异比博尔塔拉河下游河岸带土壤弱,且多属中变异,只有表层

速效磷变异较强;有机质变异系数在 50%~90%,碱解氮变异程度其次,为 50%~80%,而速效钾变异系数在 30%~60%,速效磷变异程度最弱,除表层为强变异外,其余各层变异系数均在 20%~50%,20 cm 处速效钾变异较强,40—100 cm 土层碱解氮、有机质变异较高,速效钾、速效磷属中低变异。

2.2.2 博、精河下游土壤养分含量垂直分布特征分析 由图 1 可以看出:精河河下游河岸带土壤有机质含量垂直变化相对稳定,而博尔塔拉河下游河岸带土壤大致呈随土层深度增加递减的趋势,但平均含量均<1%,各层平均含量呈现出博尔塔拉河>精河河的趋势;此外,土壤中碱解氮的含量和土壤有机质的含量变化关系密切,随着土壤中有机质的逐步矿化,土壤中氮元素逐渐被释放出来,因此,精河和博尔塔拉河土壤碱解氮垂直变化趋势以及相对含量与有机质的垂直变化规律基本一致,均为随着土层深度的增加,平均含量递减;精河与博尔塔拉河速效速效磷含量在 1~4 mg/kg,速效钾含量在 20~50 mg/kg,平均含量接近,变化趋势均为先增后减。从研究区土壤速效养分各指标垂直分布结果分析得出:博尔塔拉河养分条件优于精河。

2.2.3 精河、博尔塔拉河下游土壤养分含量水平分布特征分析 由图 2 可以看出:博尔塔拉河入湖口至下游 12 km 河岸带土壤速效养分平均含量变化特征中,有机质与碱解氮含量变化趋势相近,在距入湖口 5 km 处含量最高,而速效钾在距入湖口 1 km 和 6 km 处较高,速效钾含量在距入湖口 5 km 处较高。精河湖口至下游 7 km 土壤养分含量变化特征为:有机质与碱解氮含量变化趋势相近,在距入湖口 1 km 处含量最高,而速效磷与速效钾在距入湖口 2 km 和 4 km 处较高,变化趋势相近。比较精河、博尔塔拉河各有效养分因子,发现博尔塔拉河土壤速效养分含量高于精河。

表 4 博尔塔拉河下游河岸带土壤速效养分空间分布统计特征描述

养分因子	层次/cm	采样数	平均值	最大值	最小值	中值	标准差	变异系数/%
有机质/%	表层	11	0.82	4.19	0.15	0.67	1.16	142.33
	20	9	0.54	1.17	0.09	0.32	0.41	75.82
	40	10	0.50	1.82	0.11	0.31	0.51	101.32
	60	10	0.24	0.48	0.14	0.23	0.10	41.19
	80	9	0.19	0.73	0.03	0.16	0.21	109.13
	100	4	0.28	0.68	0.07	0.18	0.27	99.83
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	表层	11	37.40	87.93	3.34	29.12	27.53	73.60
	20	9	43.98	87.03	2.90	42.05	27.19	61.82
	40	10	41.50	87.00	14.13	33.54	26.10	62.89
	60	10	44.11	64.82	19.77	45.76	15.65	35.47
	80	9	39.22	76.85	14.41	33.16	21.07	53.74
	100	4	22.94	43.82	4.57	21.68	17.66	77.00
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	表层	11	2.28	5.06	1.17	2.10	1.15	50.30
	20	9	2.35	3.39	1.51	2.19	0.68	29.11
	40	10	1.65	2.37	1.21	1.46	0.49	29.84
	60	10	1.80	3.26	1.21	1.56	0.69	38.42
	80	9	1.95	3.78	1.22	1.61	0.89	45.73
	100	4	1.90	3.57	1.22	1.41	1.12	58.78
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	表层	11	83.08	243.71	24.23	67.59	63.15	76.01
	20	9	66.77	122.12	21.30	62.64	35.95	53.85
	40	10	52.32	88.97	9.09	55.92	24.61	47.04
	60	10	43.33	105.21	10.59	36.31	28.19	65.06
	80	9	42.07	79.98	16.69	36.67	20.97	49.84
	100	4	39.03	65.16	16.69	37.13	22.59	57.87

表 5 精河下游河岸带土壤速效养分空间分布统计特征描述

养分因子	层次/cm	采样数	平均值	最大值	最小值	中值	标准差	变异系数/%
有机质/%	表层	9	0.28	0.73	0.09	0.22	0.22	79.00
	20	9	0.39	0.90	0.13	0.35	0.23	59.24
	40	9	0.22	0.46	0.11	0.18	0.12	55.88
	60	8	0.19	0.35	0.06	0.19	0.11	57.54
	80	7	0.29	0.72	0.03	0.19	0.26	88.51
	100	3	0.33	0.63	0.14	0.22	0.26	79.66
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	表层	9	34.81	58.43	16.10	35.00	15.44	44.36
	20	9	40.30	87.58	13.04	34.51	24.61	61.08
	40	9	46.62	91.18	15.19	46.39	24.91	53.44
	60	8	44.88	71.80	23.85	47.49	18.85	42.00
	80	7	36.48	58.47	23.87	35.76	12.81	35.11
	100	3	29.19	47.25	16.38	23.93	16.09	55.14
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	表层	9	3.37	15.76	1.13	1.67	4.69	139.14
	20	9	1.92	3.39	1.19	1.21	0.90	46.89
	40	9	1.97	3.35	1.15	1.97	0.70	35.61
	60	8	2.31	3.17	1.39	2.42	0.55	23.83
	80	7	1.99	2.87	1.20	1.91	0.74	37.28
	100	3	1.91	2.30	1.21	2.23	0.61	31.89
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	表层	9	56.75	113.54	18.05	51.90	29.73	52.39
	20	9	26.59	58.77	13.66	24.32	13.25	49.85
	40	9	25.56	61.49	6.07	16.79	18.98	74.27
	60	8	28.57	54.40	6.04	30.25	15.97	55.91
	80	7	35.03	64.09	21.27	24.86	18.32	52.29
	100	3	34.50	63.79	9.11	22.76	28.46	82.49

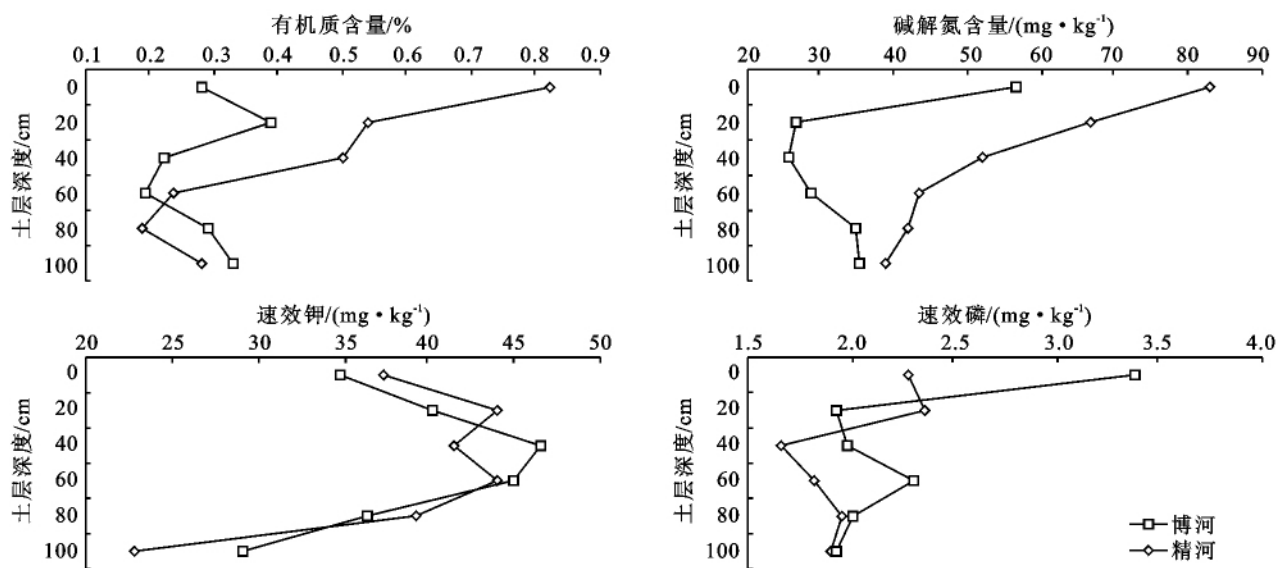


图1 精河、博尔塔拉河下游河岸带土壤速效养分含量垂直分布

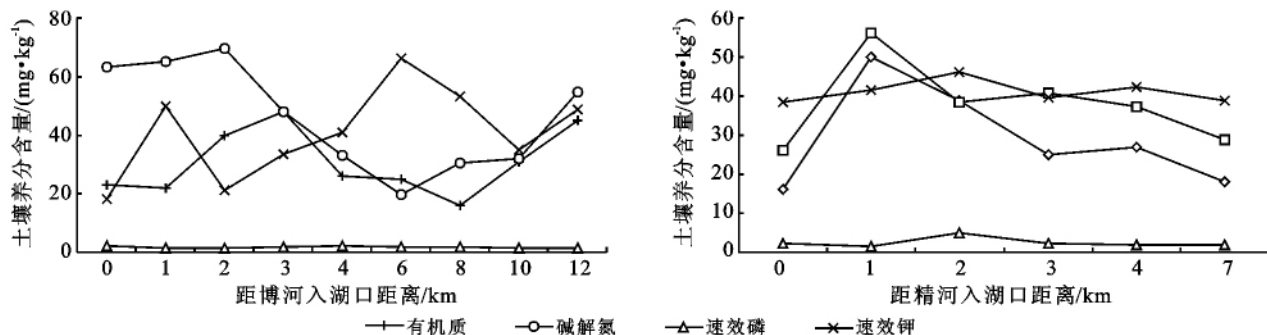


图2 精河、博尔塔拉河下游土壤养分含量分布

### 3 结论与讨论

(1) 博尔塔拉河土壤有机质、碱解氮变异程度强于精河,且强变异样点较多;精河与博尔塔拉河土壤速效磷、速效钾变异程度相近,属中度变异。两河均位于阿拉山口主风道上,从地理位置与地形来看,博河位于西北,地势较高,因此受风的影响更先、更强。

(2) 研究区速效养分指标垂直方向分异规律为:土壤有机质、碱解氮含量都呈随土层深度增加而递减,平均含量为博尔塔拉河高于精河;精河土壤有机质含量垂直变化相对稳定;两河速效磷、速效钾含量大小相近、亦呈随土层深度增加而递减。速效磷、有机质、碱解氮含量具有一定的表聚性。两河相比较,博河植被类型多,多为盐生植被且长势较高较大,植被的枯枝落叶有助于有机质的积累,有机质的积累又可以提高氮含量,因此博河土壤有机质、碱解氮含量高于精河,而两河速效磷、速效钾含量及空间变化特征一致主要是与两河地理位置相近,其土壤成土母质,以及从艾比湖湖口沿两河其土壤类型过渡(沙土向盐土,棕漠土过渡)一致有关。

(3) 研究区速效养分指标水平方向分异规律为:

土壤有机质、速效钾、速效磷、碱解氮含量呈现出距离艾比湖越远,各指标含量越小的趋势,平均含量对比结果为:博尔塔拉河高于精河。博河下游和盐化棕漠土盐生植被分布广、多,而精河下游沙土及沙生植被分布面积大且植被类型相对少。

(4) 总体养分状况:研究区养分含量总体偏低,精河河养分在空间上变化较小,相对稳定。博尔塔拉河下游河岸带土壤养分状况优于精河河的土壤。

参考文献:

- [1] 李建辉,李晓秀,张汪寿,等.基于地统计学的北运河下游土壤养分空间分布[J].地理科学,2011,31(8):1001-1006.
- [2] 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):81-87.
- [3] 高艳霞,徐东瑞.石家庄市边缘带土壤养分空间分布特征研究[J].土壤通报,2009,40(5):1063-1069.
- [4] 徐剑波,宋立生,彭磊,等.土壤养分空间估测方法研究综述[J].生态环境学报,2011,20(8/9):1379-1386.
- [5] 陆琦,马克明,张洁瑜,等.三江平原退化湿地和农田土壤养分的比较研究[J].生态与农村环境学报,2007,23(2):23-28.

(下转第28页)

- 交错带不同土地利用类型土壤有机碳储量[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 148-152.
- [8] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳储量的影响[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 300-302.
- [9] 刘梦云, 安韶山, 常庆瑞. 宁南山区不同土地利用方式土壤有机碳特征研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 47-49.
- [10] 王百群, 姜峻, 都全胜, 等. 黄土丘陵区人工草地牧草营养元素累积土壤有机碳与养分特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 127-132.
- [11] 朱咏莉, 韩建刚, 吴金水. 农业管理措施对土壤有机碳动态变化的影响[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 648-651.
- [12] 张旭辉, 李恋卿, 潘根兴. 不同轮作制度对淮北白浆土团聚体及其有机碳的积累与分布的影响[J]. 生态学杂志, 2001, 20(2): 16-19.
- [13] 张国盛, 黄高宝, Yin Chan. 农田土壤有机碳固定潜力研究进展[J]. 生态学报, 2005, 25(2): 351-357.
- [14] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 593-599.
- [15] 李忠佩, 林心雄, 车玉萍. 中国东部主要农田土壤有机碳库的平衡与趋势分析[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 351-360.
- [16] 张文菊, 吴金水, 童成立, 等. 三江平原湿地沉积有机碳密度和碳储量变异分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 537-544.
- [17] Pan G X, Li L Q, Wu L, et al. Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils[J]. Global Change Biology, 2003, 10(1): 79-92.
- [18] Biedenbender S H, McClaran M P, Quade J, et al. Landscape patterns of vegetation change indicated by soil carbon isotope composition[J]. Geoderma, 2004, 119(1/2): 69-83.
- [19] Biederbeck B O. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26(12): 1656-1674.
- [20] Motavalli P P, Palm C A, Parton W J, et al. Comparison of laboratory and modeling simulation methods for estimating carbon pools in tropical forest soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26(8): 935-944.
- [21] Hassink J. Density fractions of soil macroorganic matter and microbial biomass as predictors of C and N mineralization[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(8): 1099-1108.
- [22] 谭文峰, 朱志峰, 刘凡, 等. 江汉平原不同土地利用方式下土壤团聚体中有机碳的分布与积累特点[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 973-980.
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [24] 李学垣. 土壤化学及实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [25] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1459-1466.
- [26] 李向阳, 胡红青, 谭文峰, 等. 四湖地区不同水型水稻土的腐殖质分布特征[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(6): 631-634.

(上接第 23 页)

- [6] Jonathan H T, Robert S N, Stanley D S. Soil resources heterogeneity in the Mojave Desert[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 52(3): 269-292.
- [7] 隋媛媛, 杜峰, 张兴昌. 黄土丘陵区撂荒群落土壤速效养分空间变异性研究[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 76-84.
- [8] 高艳霞, 徐东瑞. 石家庄市边缘带土壤养分空间分布特征研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1063-1069.
- [9] 马麟英. 不同土层土壤有机质含量对速效氮分配的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(24): 193-196.
- [10] 杨奇勇, 杨劲松, 刘广明. 土壤速效养分空间变异的尺度效应[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 431-436.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 文海燕, 赵哈林. 退化沙质草地植被与土壤分布特征及相关分析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(1): 77-80.
- [14] 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): 134-138.
- [15] 闫培锋, 周华荣, 刘宏霞. 白杨河—艾里克湖湿地土壤理化性质的空间分布特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 406-412.
- [16] 胡江玲, 张高. 新疆精河流域土壤质量空间分异规律分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 116-118.