

精河河下游河岸带土壤养分与盐分特征分析

王勇辉, 郭双双, 海米提·依米提*

(新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要:以艾比湖流域的精河河下游河岸带土壤为研究对象,对不同植被类型覆盖条件下土壤养分与盐分进行测定,通过描述性统计及主成分分析,结果表明:(1)研究区土壤养分整体呈现中等空间变异特征,极差值除速效钾、碱解氮外,其它指标变化较为稳定;土壤盐分变异系数较大,呈现强烈的空间变异特征;(2)土壤养分中,有机质、全钾、碱解氮与主成分1相关性较大,速效钾与主成分2相关性较大,可作为研究区养分状况的特征因子;研究区土壤经养分分级显示,该区域有机质、全钾极为贫乏,碱解氮、速效钾较为贫乏;(3)土壤中的总盐含量与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 K^+ 与 Na^+ 存在极显著的正相关关系; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 K^+ + Na^+ 是研究区盐渍化状况的特征因子;研究区土壤经盐渍化分级为盐土。

关键词:土壤养分;土壤盐分;空间变异;主成分分析;精河河

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0133-06

Analysis of soil nutrients and salinity characteristics in riparian zone of downstream of Jinghe River

WANG Yong-hui, GUO Shuang-shuang, Hai Miti·Yimiti*

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

Abstract: To investigate the correlation between soil nutrients and salinity characteristics in Bohe River riparian in Ebinur Lake, total salt content, eight ions content and soil nutrients in different types of vegetation were measured by using correlation analysis and principal component analysis. The results showed that: (1) over all, soil nutrients showed moderate spatial variability, except for potassium and available nitrogen, the other nutrients parameters were stable; The coefficient of variation of soil salinity showed a significant spatial variability; (2) There were obvious correlation between organic matter, total K, available nitrogen and the principal component; There were obvious correlation between potassium and the second principal component; Organic matter, total K, available nitrogen, and potassium could be served as characteristic factors of the soil nutrients study. The results showed, in the research area, organic matter and total K were extremely poor, available nitrogen and potassium were relatively poor by soil nutrient classification standard; (3) There were significant positive correlation between total salt content and contents of Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 K^+ + Na^+ ; Content of Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 K^+ and Na^+ were used as characteristics factors of salinization study. By salinization classification standard, soil in the research area was classified as saline.

Keywords: soil nutrient; soil salt; spatial variability; principal component analysis; Jinghe River

盐生植物作为地球上广泛分布的一类特殊的植物类群,是人类难得的基因宝库,对绿洲—荒漠复合生态系统平衡的维持起着积极的作用^[1]。土壤为植被提供必要的物质基础,而土壤养分含量又是植被

生长的重要影响因子^[2]。因此,通过研究土壤养分的动态变化,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。另外,盐渍化是干旱区土壤的一个普遍特征,在新疆尤为严重,研究土壤

收稿日期:2012-12-12

基金项目:国家自然科学基金项目“艾比湖湿地生态环境演变及生态恢复研究”(41171036);中国沙漠气象科学基金课题“艾比湖干涸湖底疏松裸土表层土壤特征与沙尘天气关系研究”(sqj2011009);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,讲师,博士研究生,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:海米提·依米提, E-mail: hyimit@yahoo.com.cn。

盐分,找出其主要影响因子,是研究植物的生长与退化及提出改良措施的关键^[3]。不同学者对土壤的养分从不同地域尺度与角度做了研究^[4-13],也有不少学者对土壤盐分做过分析^[14-18],但研究区大多数为经济作物生长区,并且在同一区域进行养分、盐分对比性分析的研究较少^[19]。

新疆的艾比湖,作为干旱区典型的内陆封闭盐湖,环境退化问题成为近年来的研究热点。精河河是艾比湖的主要补给河流之一,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,研究区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,准确把握地表植被覆盖条件下的土壤盐分特征,可为该地区土壤恢复及防沙抗沙提供科学参考。通过文献检索发现,关于干旱区湖泊湿地不同植被覆盖条件下土壤养分、盐分特征的研究相对较少。本研究从更加微观的视角,综合土壤地理学、分析化学、统计学等研究手段,对精河河下游河岸带的土壤养分及盐分特征进行主成分分析,并对该研究区土壤进行养分、盐分的评价,对合理利用资源和生态环境建设具有重要意义。

1 研究区概况与试验方法

1.1 研究区概况

精河流域是新疆第二大生态退化区——艾比湖流域的核心区域,位于新疆西北部,天山支脉婆罗科努山北麓,准噶尔盆地西南边缘,东临奎屯河流域,

西接博尔塔拉河流域,是艾比湖水量补给水源之一。其地势南高北低,自南向北呈扇坡面,三面环山,仅东北面与准噶尔盆地相连,以艾比湖为中心,属典型的温带大陆性干旱气候,光照充足,冬夏冷热悬殊,干燥少雨,多大风。研究区位于精河河流域的下游,成土母质多为洪积物或洪积-冲积物,土壤普遍存在土层薄、肥力贫瘠的特点。日照时间长,年日照 $\geq 2\,700\text{ h}$,无霜期 $\geq 170\text{ d}$,1月份平均气温 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$,7月份平均气温 $26\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温为 $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温为 $42\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 102 mm 。绿洲景观形成之前,通常是以荒草地、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增加,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,生产性能得到改善。

1.2 数据采集与实验方法

土壤样品采集时间为2011年11月3日—4日,利用GPS野外导航,自艾比湖精河河入湖口始,沿河岸带每隔约 1 km ,对典型植被覆盖的土壤样品进行采集。采样剖面共10个,自下而上采集,采样层次为 $0\sim 10、20、40、60、80\text{ cm}$ (通常每个剖面5个样,合计50个样,个别样点因不具备采样条件而缺少 80 cm 的样品),同时采集平行样品1份。样品风干后过筛用于土壤养分及盐分指标的测定,采样地点见表1。

表 1 精河河采样点及地表植被
Table 1 Sampling points and the vegetation in Jinghe

序号 No.	经纬度 Latitude and longitude	海拔 Elevation/m	地表植被及土壤特征 Characteristics of vegetation and soil
0	44°48'15"N 82°53'13"E	196	芦苇茂盛,约2 m以上,土壤含水量大
1	44°47'58"N 82°53'06"E	193	芦苇茂盛,芨芨草混合分布,土质疏松
2	44°47'30"N 82°52'55"E	202	多为草甸,淤积土
3	44°46'56"N 82°52'10"E	205	胡杨林,桉柳灌丛
4	44°50'13"N 82°49'29"E	193	湖底淤积泥沙层,无植被
5	44°50'05"N 82°49'32"E	193	桉柳灌丛为主
6	44°49'58"N 82°50'45"E	189	盐节木,土壤盐渍化严重
7	44°48'40"N 82°53'23"E	189	芦苇,高度约为1 m左右
8	44°49'02"N 82°54'04"E	192	盐角草为主
9	44°48'58"N 82°54'10"E	192	芦苇地,土壤含水量较高

测定方法:土壤有机质采用重铬酸钾容量法进行测定;全氮用凯氏定氮法测定;全磷用硫酸—高氯

酸消煮法测定;全钾用NaOH熔融—火焰光度计法测定;碱解氮采用碱解氮扩散法测定;速效磷用碳酸

氢钠—钼锑抗比色法测定;速效钾用醋酸铵—火焰光度计法测得。本文在盐分研究中,土壤总盐采用质量法测定; HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 采用双指示剂中和法; Cl^- 采用硝酸银滴定法; SO_4^{2-} 采用容量法; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法; K^+ 、 Na^+ 用差减法计算求得。

数据处理:采用 Excel 及 SPSS 17.0 软件。

分析方法:主成分分析法。对土壤养分的有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾进行主成分分析,各主成分中指标系数、特征值及贡献率,按照累计贡献率达到 85% 确定为主成分个数,并计算主成分与各项指标的相关系数。

2 结果与分析

2.1 土壤各要素的描述性分析

从图 1 可得土壤养分变化规律:有机质、碱解氮、速效钾含量随着土壤剖面的加深其含量减少,表聚现象明显,其余养分指标在各土壤层间含量变化不明显。从土壤表层至 20 cm 土壤层,总盐含量急剧下降,具有明显的表聚特征,20 ~ 80 cm 土壤层变化不明显。

2.2 土壤养分及盐分统计特征分析

表 2 极差值显示:碱解氮、速效钾的差值较大,分别为 $36.53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $30.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;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,碱解氮含量标准差较大,达到 29.73。变异系数分析结果显示:当变异系数小于 10%,表明变量具有较弱的空间变异;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。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。

表 3 结果显示:硫酸根的值在 $0.25 \sim 31.35 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,钾、钠离子含量值在 $5.23 \sim 76.82 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,氯离子含量值在 $0.40 \sim 72.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间。标准差中,碳酸根离子的标准差最小,为 0.03;变幅最大的是钾、钠离子,其标准差最大为 30.29;变异系数中,硫酸根、碳酸根、氯离子及镁离子的变异系数都大于 100%,呈现强烈的空间变异特征。其余离子的变异系数值在 10% ~ 100% 之间,属中等空间变异特征。

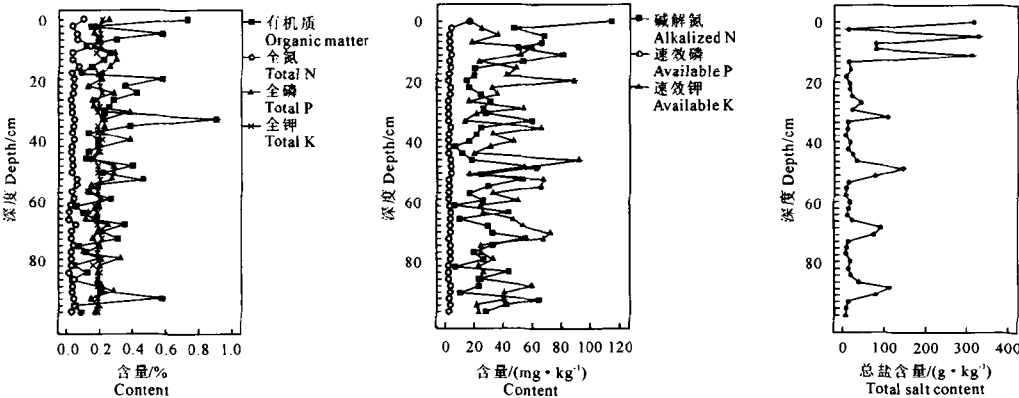


图 1 养分与盐分的垂直变化
Fig.1 The vertical variation of nutrients and salt

表 2 土壤养分特征

Table 2 The soil nutrient property

土壤养分 Soil nutrient	极小值 Minimum value	极大值 Maximum value	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	极差 Range value	变异系数 The coefficient of variation
有机质 Organic matter/%	0.12	0.53	0.30	0.14	0.41	0.46
全氮 Total N/%	0.03	0.07	0.04	0.01	0.04	0.32
全磷 Total P/%	0.16	0.32	0.22	0.06	0.16	0.25
全钾 Total k/%	0.18	0.21	0.19	0.01	0.03	0.07
碱解氮 Alkalized N/(mg·kg ⁻¹)	17.60	54.13	36.30	12.65	36.53	0.35
速效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	1.33	6.06	2.42	1.43	4.73	0.59
速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)	28.67	59.31	40.57	11.71	30.64	0.29

表 3 土壤盐分特征值/(g·kg⁻¹)及变异系数
Table 3 The soil salinity property and coefficient of variation

土壤盐分 Soil salinity	极小值 Minimum value	极大值 Maximum value	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	极差值 Range value	变异系数 The coefficient of variation
SO ₄ ²⁻	0.25	31.51	7.88	10.21	31.26	1.29
Ca ²⁺	0.17	3.07	1.09	1.00	2.91	0.91
Mg ²⁺	0.04	2.00	0.63	0.76	1.96	1.20
CO ₃ ²⁻	0.01	0.10	0.03	0.03	0.09	1.04
HCO ₃ ⁻	3.36	9.51	4.94	2.15	6.15	0.44
Cl ⁻	0.40	72.4	20.16	25.31	72.01	1.26
K ⁺ ,Na ⁺	5.23	76.82	37.47	30.29	71.59	0.81

2.3 精河河下游河岸带土壤养分主成分分析及评价

2.3.1 精河河下游土壤养分的主成分分析 通过分析各主成分因子的方差贡献率及其累积贡献率,发现主成分 1 具有最大的方差贡献率,主成分 2 则是次于主成分 1 以外最能反映土壤养分信息的因子。据此类推,其它主成分对土壤养分信息的表达

依次减弱。通过分析主成分因子方差累积贡献率,发现前 3 个主成分的方差累积贡献率达到85.136%,信息损失仅为 14.864%,它们可以代替原始变量因子来表达因子所代表的主要信息,也基本包含了以上 7 个指标的大部分信息。

表 4 主成分因子的方差矩阵
Table 4 Covariance matrix of the principal component factors

主成分 Element	初始特征值 Initial Eigenvalue			提取平方和载入 Extraction of square and loaded		
	合计 Total	方差贡献率 Variance/%	累积贡献率 Accumulation/%	合计 Total	方差贡献率 Variance/%	累积贡献率 Accumulation/%
1	3.282	46.892	46.892	3.282	46.892	46.892
2	1.746	24.937	71.828	1.746	24.937	71.828
3	0.932	13.308	85.136	0.932	13.308	85.136

方差贡献对应主成分的重要程度。从主成分载荷矩阵表 5 可以看出:与第 1 主成分密切相关的是有机质、全钾、碱解氮,它们与第 1 主成分的相关系数分别为 0.895、0.893、0.840;全氮、全磷与第 1 主成分的相关性也较强,相关系数分别为 0.620、0.645;在第 2 主成分中,速效钾与全氮的贡献较高,贡献系数分别为 0.936、0.733;在第 3 主成分中,速效磷的贡献较高;根据各指标与第 1 主成分间的相关性显著程度,可将有机质、全钾、碱解氮、速效钾作为研究区养分状况的特征因子。

2.3.2 精河河下游河岸带土壤养分评价 从表 6 可知,研究区土壤有机质极大值为 0.53%,小于 0.60%,属于极缺乏,全钾含量在 0.18%~0.21%之间,属于极缺乏,碱解氮含量均值 36.30 mg·kg⁻¹,属较缺乏,速效钾含量均值在 40.57 mg·kg⁻¹,与碱解氮相同,属较缺乏级别。

表 5 主成分的因子载荷矩阵

Table 5 Principal component factor loading matrix

项目 Item	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3	公因子方差 Common factor variance
有机质 Organic matter	0.906	-0.221	-0.201	0.484
全氮 Total N	0.620	0.733	-0.229	1.124
全磷 Total P	0.645	-0.437	0.440	0.648
全钾 Total K	0.805	-0.130	-0.310	0.365
碱解氮 Alkalized N	0.809	-0.219	-0.163	0.427
速效磷 Available P	0.550	0.169	0.711	1.430
速效钾 Available k	0.232	0.936	0.129	1.297
方差贡献 Variance	4.567	0.831	0.377	5.775
特征根 Characteristic root	4.567	0.831	0.377	5.775

表 6 全国土壤养分含量分级标准
(全国第二次土壤普查土壤养分分级标准)

Table 6 The soil nutrient content grading standards of china

级别 Level	有机质 Organic matter /%	全钾 Total K /%	碱解氮 Alkalized N /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)
很丰富 Very rich	> 4.00	> 2.50	> 150	> 200
丰富 Rich	3.00~4.00	2.00~2.50	120~150	150~200
中等 Moderate	2.00~3.00	1.50~2.00	90~120	100~150
缺乏 Lack	1.00~2.00	1.00~1.50	60~90	50~100
很缺乏 Quite shortage	0.60~1.00	0.50~1.00	30~60	30~50
极缺乏 Serious shortage	≤0.60	≤0.5	≤30	≤30

表 7 主成分因子的方差矩阵

Table 7 Covariance matrix of the principal component factors

成份 Element	初始特征值 Initial Eigenvalue			提取平方和载入 Extraction of square and loaded		
	合计 Total	方差贡献率 Variance/%	累积贡献率 Accumulation/%	合计 Total	方差贡献率 Variance/%	累积贡献率 Accumulation/%
1	4.153	59.323	59.323	4.153	59.323	59.323
2	1.535	21.924	81.247	1.535	21.924	81.247
3	0.973	13.895	95.141	0.973	13.895	95.141

从表 8 可以看出,CO₃²⁻ 的公因子方差最小,这表明提取三个主成分时,CO₃²⁻ 方面的信息有较多的损失。与第 1 主成分密切相关的是 Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、K⁺ 和 Na⁺,它们与第 1 主成分的相关系数分别为 0.898、0.891、0.896、0.921;在第 2 主成分中,SO₄²⁻ 的贡献较高;根据各指标与第 1 主成分间的相关性显著程度,可将 Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、K⁺ 和 Na⁺ 作为研究区盐渍化状况的特征因子。

2.4.2 精河河下游河岸带土壤盐渍化评价 以精河河下游河岸带土壤不同层次总盐数据为基础,结合表 9 中新疆盐渍化分级标准,可以得出精河河下游河岸带土壤盐渍化水平:0~30 cm 的总盐含量已经远远大于 1.345%;0~100 cm 总盐含量也大于 0.895%,因此可以将精河下游河岸带土壤定义为盐土。

2.4 精河河下游河岸带土壤盐分主成分分析及评价

2.4.1 精河河下游河岸带土壤盐分的主成分分析

方法同上,对水溶性盐基离子 CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺ + Na⁺ 进行主成分分析。通过分析主成分因子的方差累积贡献率,发现前三个主成分的方差累积贡献率已达到 95.141%,保持了原变量信息的绝大部分,信息损失仅为 4.859%,它们包含了以上 8 个指标的大部分信息。其中,第 1 主成分是最重要的,包含的信息最多,对土壤盐渍化影响最大。

表 8 主成分的因子载荷矩阵

Table 8 Principal component factor loading matrix

项目 Item	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3	公因子方差 Common factor variance
SO ₄ ²⁻	0.348	0.908	0.163	1.419
Ca ²⁺	0.898	0.105	-0.255	0.748
Mg ²⁺	0.891	0.297	-0.295	0.893
CO ₃ ²⁻	0.676	-0.482	-0.477	-0.283
HCO ₃ ⁻	0.568	-0.423	0.687	0.832
Cl ⁻	0.896	-0.374	0.115	0.637
K ⁺ + Na ⁺	0.921	0.246	0.286	1.453
方差贡献 Variance	5.198	0.277	0.224	5.699
特征根 Characteristic root	5.198	0.277	0.224	5.699

表 9 新疆盐渍化分级标准(总盐)*

Table 9 Salinization classification standard in Xinjiang(total salt)

土层厚度 Soil thickness/cm	非盐渍化 Non-salinization/%	轻度盐渍化 Mild salinization/%	中度盐渍化 Moderate salinization/%	强度盐渍化 Strength salinization/%	盐土 Saline/%
0~30	< 0.554	0.554~0.727	0.727~0.866	0.866~1.345	> 1.345
0~100	< 0.391	0.391~0.491	0.491~0.597	0.597~0.895	> 0.895

注:新疆盐渍化分级标准引自《生态功能区划暂行规程》(2003 年 5 月,国家环保局颁布)。
Note: Saline grading standards cited in The Interim Ecological Function Zoning Regulations (May 2003, the State Environmental Protection Agency issued)

3 结 论

本文通过对研究区土壤养分与盐分的研究,得出以下结论:

1) 研究区土壤中各养分指标具有中等空间变异特征;土壤盐分各离子间含量差异较大,整体变异系数偏大,属强烈的空间变异特征。这是因为土壤母质、风化、耕作、施肥措施等条件均会影响养分及盐分的空间分布状况,但精河河下游河岸带在艾比湖国家自然保护区内,耕作、施肥等人为干扰因素较小,自然因素影响较大,因此土壤母质、风化、风化径流携带可能导致土壤养分、盐分呈现出目前的空间变异特征。

2) 针对土壤养分特征因子分级显示:有机质、全钾极为贫乏,碱解氮、速效钾较为贫乏;盐渍化分级显示:研究区土壤为盐土。研究区土壤养分含量低、盐分含量高的分布特征可能与土壤类型有关。精河河下游河岸带位于阿拉山口大风吹过的主通道上,艾比湖干涸湖底的盐尘常年被阿拉山口的大风吹到该地区,使得该区域土壤盐分含量偏高,土壤类型以盐土居多。盐分含量较高,会使土壤中的养分含量减小,这与雷金银等的研究成果一致^[20]。

3) 主成分分析显示:土壤养分含量中有机质、全钾、碱解氮、速效钾为研究区养分状况的特征因子;土壤盐分含量中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 K^+ 和 Na^+ 为研究区盐渍化状况的特征因子,土体中离子呈现出的特征,在一定程度上反映出了盐分的运动趋势。

参 考 文 献:

- [1] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜.渭干河-库车河三角洲绿洲土壤盐分对植被分布格局的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):219-223.
- [2] 戴全厚,刘国彬,张 健,等.黄土丘陵区植被次生演替灌木种群的土壤养分效应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,38(8):125-131.
- [3] 祖皮艳木·买买提,海米提·依米提,买买提吐尔逊·艾则孜.伊犁河谷地下水及土壤盐分分布特征[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):58-63.
- [4] 海米提·依米提,米日姑·买买提,古丽娜儿·托合提,等.伊犁河谷盐渍化区土壤盐分离子的空间变异特征[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):64-69.
- [5] 刘文杰,苏永中,杨 荣,等.黑河中游临泽绿洲农田土壤有机质时空变化特征[J].干旱区地理,2010,33(2):170-176.
- [6] 李从娟,李 彦,马 健,等.干旱区植物根际土壤养分状况的对比研究[J].干旱区地理,2011,34(2):322-328.
- [7] 王忠臣,钱一兵,张海燕,等.东天山喀尔里克山北坡-淖毛湖盆地土壤理化性状的空间分布特征[J].干旱区地理,2011,34(1):109-114.
- [8] 赵 斌,吴献花,吴 斌,等.不同土地利用类型下土壤养分在土壤剖面中的分布特征[J].安徽农业科学,2011,39(36):22405-22410.
- [9] 丁文广,魏银丽,牛贺文.西北干旱区植被恢复的土壤养分效应[J].生态环境学报,2010,19(11):2568-2573.
- [10] 姜红梅,李明治,王 亲,等.祁连山东段不同植被下土壤养分状况研究[J].水土保持研究,2011,18(5):166-170.
- [11] 丁国昌,何宗明,林 宇,等.木麻黄迹地不同更新树种土壤剖面的变化特征及表聚性特征[J].江西农业大学学报,2012,34(1):66-71.
- [12] 韩凤朋,郑纪勇,张兴昌.黄土地退耕坡地植物根系分布特征及其对土壤养分的影响[J].农业工程学报,2009,25(2):50-55.
- [13] 吴海燕,金荣德,范作伟,等.东北黑土区不同耕作方式土壤养分与酶活性的时空变化[J].水土保持学报,2009,23(6):155-161.
- [14] 杨奇勇,杨劲松.基于 GIS 的土壤盐分空间变异及盐分监测样点合理布设研究[J].灌溉排水,2011,30(2):10-14.
- [15] 张同娟,杨劲松,刘广明.长江河口地区典型地段土壤盐分特征研究[J].灌溉排水学报,2010,29(3):32-35.
- [16] 刘国华,海米提·依米提,王庆峰,等.于田绿洲土壤盐分特征分析[J].水土保持研究,2009,16(3):260-264.
- [17] 姚荣江,杨劲松,姜 龙,等.基于聚类分析的土壤盐渍剖面特征及其空间分布研究[J].2008,45(1):56-65.
- [18] 买买提吐尔逊·艾则孜,海米提·依米提,艾尼瓦尔·买买提,等.天山西部伊犁河流域土壤盐分特征[J].环境科学研究,2010,23(6):774-781.
- [19] 李慧卓,李秀江,林玉慧,等.南皮乌马营试区土壤养分与盐分状况分析[J].河北林果研究,2003,18(3):222-224.