

不同土地利用方式下渭—库绿洲土壤质量评价

王雪梅^{1,2}, 柴仲平³, 毛东雷^{1,2}, 杨雪峰¹

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区重点实验室 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室,

新疆 乌鲁木齐 830054; 3. 新疆农业大学 草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: [目的] 定量评价渭干河—库车三角洲绿洲(简称渭—库绿洲)不同土地利用方式下的土壤质量, 为该区域土地资源的合理利用与规划以及土壤质量的管理与治理服务。[方法] 基于渭—库绿洲实地采样数据, 利用土壤质量评价指标, 采用土壤质量指数(SQI)综合评价法, 在 ArcGIS 9.3 软件支持下对研究区土壤质量的空间分布状况进行定量评价。[结果] 不同土地利用方式下的土壤质量指数的平均水平存在显著差异($p < 0.05$), 其土壤质量由高到低的顺序依次为: 林地 > 耕地 > 荒漠灌丛 > 盐碱草地, 其中林地的平均土壤质量指数为 0.48, 盐碱草地的平均土壤质量指数为 0.24。[结论] 从空间分布上, 渭—库绿洲的土壤质量总体处于中低水平, 只有研究区中部区域具有较高水平的土壤质量。不同土地利用方式下土壤质量差异明显。

关键词: 评价指标; 土壤质量指数; 土地利用; 渭干河—库车三角洲绿洲

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0319-05

中图分类号: X825, S158.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.001

Evaluation of Soil Quality in Weigan—Kuqa River Delta Oasis Under Different Land Use Patterns

WANG Xuemei^{1,2}, CHAI Zhongping³, MAO Donglei^{1,2}, YANG Xuefeng¹

(1. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi,

Xinjiang 830054, China; 2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Key Laboratory, Xinjiang

Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi, Xinjiang 830054, China;

3. College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: [Objective] Quantitative evaluation of soil quality under different land use patterns of the Weigan—Kuqa river delta oasis was carried out in order to serve the rational use and the planning of regional land resources, as well as the management and control of soil quality. [Methods] Based on the sampling data of different land use types in the Weigan—Kuqa river delta oasis, the spatial distribution of soil quality in the study area was evaluated quantitatively using soil quality evaluation index and the integrated evaluation method of soil quality index(SQI) with the support of ArcGIS 9.3. [Results] There were significant differences in the averaged soil quality index between different land use patterns($p < 0.05$). The soil qualities of different land use types ranked as: forest > cultivated land > desert shrub > alkaline grassland. The averaged soil quality index of forest and alkaline grassland were 0.48 and 0.24, respectively. [Conclusion] The overall soil quality of the Weigan—Kuqa river delta oasis was evaluated as middle or low level, except a little high level was observed at the central region of the study area. The differences of soil quality were significant among different land use patterns.

Keywords: evaluation index; soil quality index; land use; Weigan—Kuqa river delta oasis

土壤质量是土壤在生态系统界面内维持生产,保障环境质量,促进动物与人类健康行为的能力,是土壤退化性过程和保持性过程的最终平衡结果^[1-2]。合

理的土地利用方式会使土壤结构得以优化,因子间互相协调,使土壤肥力得到提升,地力得以保持,并增强了土壤对外界环境变化的抵抗力。而不合理的土地

收稿日期:2014-06-10

修回日期:2014-07-20

资助项目:国家自然科学基金项目“新疆渭干河流域土地利用/土地覆盖生态风险及预警研究”(41261051);新疆干旱区湖泊环境与资源实验室开放课题(XJDX0909-2010-08)

第一作者:王雪梅(1976—),女(汉族),江苏省铜山县人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事干旱区资源环境遥感技术应用研究。E-mail: 502529672@qq.com。

利用方式则会造成土壤结构破坏,因子失衡,地力下降,对土壤环境质量造成危害,间接影响农产品的质量。因此,土壤质量评价作为农业可持续发展研究的重要内容之一,对土地资源的科学利用和管理具有重要的现实意义^[3]。土壤质量的综合评价涉及到诸多土壤因子,如何确定土壤质量评价指标一直是土壤质量评价的核心问题。但由于土地利用方式的多样化和地域差别的存在,不同研究中所用到的具体质量指标都有所不同^[4]。傅伯杰等^[5]从流域角度出发研究土地利用变化对流域土壤侵蚀、土壤养分和土地生产力的影响,认为土地利用间的相互转化是导致环境敏感区土壤质量发生变化的直接原因;李生等^[6]对广西省凌云县典型石漠化区不同土地利用方式下的土壤理化性质进行了调查分析,结果表明,人为干扰是影响该区土壤理化性质的主导因素。马志敏等^[7]研究了黑河中游荒漠绿洲区不同土地利用的土壤养分效应,认为土地利用方式的转换对土壤养分变化具有驱动效应。随着社会经济的迅速发展,土地资源的不合理利用引发了土壤退化、土壤养分贫瘠化和土壤污染等环境问题,如何构建普遍适用的多元生态化和动态化的土壤质量评价指标体系和评价模型已经成为研究的热点问题^[8-9]。综上分析认为,在全球土地利用/覆盖变化剧烈的背景下,研究土地利用变化对土壤质量的影响以及开展土地质量评价工作,对了解区域生态和粮食安全及全球环境变化尤为重要。近几十年来,在全球气候变暖的影响下,渭干河出山水资源量在逐年增加,受人类活动的影响,渭干河—库车河三角洲绿洲的耕地资源也发生了剧烈变化。地表水资源大量引入人工绿洲后,灌区地下水位上升,导致绿洲天然植被退化,加之不合理的灌溉方式,绿洲土壤盐渍化和沙化现象严重,土壤质量低下^[10]。因此,了解和掌握该绿洲土壤质量状况,对区域土地资源的合理开发具有重要的现实意义。通过对渭干河—库车河三角洲绿洲不同土地利用方式下的 pH 值、电导率以及土壤养分(有机质、全氮、碱解氮、

有效磷、速效钾)进行特征分析和综合评价,可为区域土地资源的合理开发利用以及土壤质量的科学管理服务。

1 研究区概况

渭干河—库车河三角洲绿洲(简称渭—库绿洲)位于新疆天山山脉与塔里木盆地之间,介于 80°37′—83°59′E,41°06′—42°40′N。行政区域上包括新和县的全部和库车、沙雅县的大部分绿洲范围,为一典型而完整的扇形洪、冲积倾斜平原。渭干河出山后,为散流状,受河流冲刷,三角洲形成 4 条大小不等的古河床,呈现岗洼相间的特殊地形,地下水埋深较浅,在强烈的蒸发作用下,土壤盐渍化现象严重^[11]。在土地利用方面,该三角洲绿洲为典型的绿洲农业区,以农业、经济林及小规模渔业为主。主要作物以玉米、棉花、苹果、红枣、核桃等为主,另有芦苇(*Phragmites australis*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、花花柴(*Karelinia caspia*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)和胡杨(*Populus euphratica*)等荒漠植被。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

于 2013 年 10 月中下旬在渭—库绿洲区域进行 GPS 定位采样,在采样过程中,根据田块的土地利用方式和面积确定样地的布局和采样点数,并依据质量保证规范剔除异常数据后共选取 78 个样点,样点涵盖了主要土地利用方式(耕地、林地、荒漠灌丛和盐碱草地)。依据典型性和代表性原则,每个土地利用类型设置多个取样点,每个取样点设 3 个重复,并在 0—20 cm 土层深度进行采样。在取样的同时,采用实地测量和农户走访等多种形式,详细调查该样点的坡度、坡向、土层厚度、土地利用方式、植被类型、耕作制度及人为干扰情况等信息,并填写采样点调查表^[12]。研究区主要土地利用方式及地表情况详见表 1。

表 1 不同土地利用方式下的采样点调查结果

土地利用方式	样点数/个	海拔高度/m	坡度/(°)	土壤类型	植被覆盖
耕地	48	941~1 059	0~5	砂壤	作物类型以玉米、棉花为主
林地	10	960~1 055	5~7	砂壤	苹果、核桃、红枣等经济林、枣园间作棉花
荒漠灌丛	14	970~1 070	5~10	砂土	柽柳、骆驼刺、花花柴和荒漠胡杨林
盐碱草地	6	982~1 054	0~5	砂土	芦苇、猪毛菜等盐碱草地

在实验室将采集的土样自然风干,剔出土壤以外的侵入体(如植物残茬、石粒、砖块等杂质),适当磨细过筛,充分混合均匀。室内分析参照中国科学院南京

土壤研究所编写的《土壤理化性质分析》^[13],采用经典分析方法测定土壤 pH 值、电导率、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾等 7 项指标。各指标测定方

法为:土壤 pH 值取值用土水比 1:5 测定,电导率用电导率仪测定,有机质采用油浴加热重铬酸钾氧化容量法测定,全氮采用凯氏定氮法,碱解氮采用碱解扩散法测定,有效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定,速效钾采用乙酸铵浸提—火焰光度计法进行测定,所有测定项目均由新疆农业科学院测试中心完成。

2.2 研究方法

选取土壤 pH 值、电导率、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾作为土壤质量的评价指标。运用 SPSS 20.0 统计分析软件,对研究区不同土地利用方式下的土壤质量评价指标进行统计分析。通过隶属度函数和相关系数法,计算各指标的隶属度和权重,根据土壤质量指数公式可得到各采样点的综合土壤质量指数(SQI)。通过使用单因素方差(one-way ANOVY)分析方法,对不同土地利用方式下土壤质量指数(SQI)均值进行差异显著性检验,并利用最小显著极差法(LSD)进行多重比较,绘制不同土地利用方式下的平均土壤质量指数图。最后,运用 ArcGIS 9.3 软件地统计分析模块对各采样点土壤质量指数(SQI)值进行普通克里格插值,并做出研究区土壤质量指数空间分布插值图。

2.2.1 确定各评价指标的隶属度 采用土壤质量指数(SQI)计算不同土地利用下的土壤环境质量。土

壤质量指数是土壤各指标的综合和集成。由于土壤元素的变化具有连续性,故各评价指标采用连续性的隶属度数并从主成分因子负荷量值的正负性,确定隶属度函数分布的升降性^[14]。根据研究区的实际情况,分别采用以下两种隶属度函数来确定评价指标的隶属度。相应的隶属度函数为:

(1) 戒上型隶属度函数,土壤各养分指标属于此类函数。

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & (x_2 \leq x) \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & (x_1 \leq x < x_2) \\ 0.1 & (x < x_1) \end{cases} \quad (1)$$

(2) 戒下型隶属度函数,属于这类函数的评价指标有电导率。其函数公式为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x_2 \leq x) \\ 0.9(x_2-x)/(x_2-x_1)+0.1 & (x_1 \leq x < x_2) \\ 1.0 & (x < x_1) \end{cases} \quad (2)$$

结合研究区实际,以各指标的最小值和最大值作为函数的转折点 x_1 和 x_2 。电导率、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾的隶属度转折点取值详见表 2。

对于 pH 值隶属度的确定不能简单地用戒上型或戒下型隶属度函数来确定。因为土壤的 pH 值在 6.5~7.5 之间最适宜作物生长,过高或过低都会抑制农作物的生长。故采用经验法计算 pH 值的隶属度,取值详见表 3^[14]。

表 2 隶属度曲线转折点取值

评价指标	电导率/ ($ms \cdot cm^{-1}$)	有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$)	全氮/ ($g \cdot kg^{-1}$)	碱解氮/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	有效磷/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	速效钾/ ($mg \cdot kg^{-1}$)
最小值 x_1	0.06	3.73	0.13	11.20	3.26	83.65
最大值 x_2	2.73	24.07	1.43	343.57	206.50	794.77

表 3 pH 值的隶属度值

pH 值	<6.50	6.50~7.00	7.01~7.50	7.51~8.00	8.01~8.25	8.26~8.50	>8.50
隶属度	0.5	1.0	0.9	0.7	0.5	0.2	0.1

2.2.2 评价指标权重的确定 在评价指标权重的确定上,以往研究多采用特尔菲法和层次分析法来确定,这两种方法受人为主观因素影响较大。因此,选用相关系数法确定权重^[15]。具体的计算方法为:首先计算单项评价指标之间的相关系数,然后求某评价指标之间相关系数的平均值,并以该平均值占所有评价指标相关系数平均值总和的比作为该单项评价指标的权重。

通过上述方法可计算得出各评价指标的权重分别为 pH 值(0.142 6)、电导率(0.129 3)、有机质(0.144 7)、全氮(0.146 1)、碱解氮(0.148 0)、有效

磷(0.147 7)、速效钾(0.141 7)。由分析可知,电导率的权重系数最低,仅为 0.129 3;碱解氮的权重系数最大,为 0.148 0。说明在土壤质量评价中碱解氮的贡献最大,电导率的贡献最小。各评价指标的权重系数由高到低的顺序依次为:碱解氮>有效磷>全氮>有机质>pH 值>速效钾>电导率。

2.2.3 土壤质量指数 根据各评价指标的权重和隶属度计算各样点综合土壤质量指数值。土壤质量指数值越大,土壤质量越好。各采样点的土壤质量指数(SQI)计算公式为:

$$SQI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot N_i \quad (3)$$

式中: W_i ——第 i 个指标的权重值; N_i ——第 i 个指标的隶属度; SQI——土壤质量指数; n ——评价指标数。

3 结果分析

3.1 不同土地利用方式下土壤养分均值比较

利用 SPSS 20.0 统计分析软件单因素方差分析 (one-way ANOVY) 方法, 对不同土地利用方式下土壤元素进行差异显著性检验, 并利用最小显著极差法 (LSD) 进行多重比较确定不同土地利用方式之间土壤元素均值的差异显著性, 分析结果详见表 4。

从 pH 值的平均水平来看, 林地具有最高水平的 pH 值, 而耕地的 pH 值相对最低, 不同土地利用类型的土壤 pH 值的均值无显著差异 ($p > 0.05$); 在不同的土地利用类型下, 电导率的平均水平呈现出: 盐碱草地 > 荒漠灌丛 > 耕地 > 林地, 荒漠灌丛与盐碱草地的电导率无显著差异 ($p > 0.05$), 且明显高于耕地和

林地的电导率; 林地的土壤有机质和全氮在 4 种土地利用类型中具有最高水平的平均含量 (分别为 16.09 和 0.94 g/kg)、盐碱草地的土壤有机质和全氮的平均含量最低 (分别为 7.48 和 0.37 g/kg), 不同土地利用类型之间, 土壤有机质和全氮有显著差异 ($p < 0.05$); 碱解氮和速效钾在不同土地利用方式下无显著差异 ($p > 0.05$)。有效磷在耕地和林地中的平均含量最高, 主要因为渭—库绿洲的农业发展以玉米、棉花和经济林为主, 为了提高产量施入了大量的以尿素和磷肥为主的无机肥料, 钾肥的折合量很少, 以致耕地和林地土壤中有效磷的平均含量高于荒漠灌丛和盐碱草地。从不同土地利用类型土壤养分的均值来看, 林地的土壤肥力最高, 盐碱草地的土壤肥力最低。在不同土地利用方式之间, 电导率、有机质和全氮的平均水平有极其显著的差异 ($p < 0.01$), 有效磷差异显著 ($p < 0.05$), 而 pH 值、碱解氮和速效钾则差异不显著 ($p > 0.05$)。

表 4 不同土地利用方式下土壤元素均值比较

土地类型	pH 值	电导率/ ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
耕地	8.21±0.32 ^a	1.37±0.87 ^b	10.26±3.29 ^b	0.59±0.22 ^b	82.55±65.69 ^a	40.30±36.22 ^a	310.32±168.24 ^a
林地	8.38±0.27 ^a	0.32±0.29 ^c	16.09±3.72 ^a	0.94±0.24 ^a	84.65±29.73 ^a	38.57±23.35 ^a	247.59±94.93 ^a
荒漠灌丛	8.23±0.24 ^a	2.33±0.70 ^a	11.34±4.36 ^b	0.44±0.22 ^b	79.76±62.82 ^a	14.37±13.97 ^b	380.68±175.64 ^a
盐碱草地	8.30±0.19 ^a	2.45±0.15 ^a	7.48±3.11 ^c	0.37±0.13 ^c	52.59±39.26 ^a	15.91±11.90 ^b	287.92±125.14 ^a
F 检验值	1.533	16.730**	9.131**	13.968**	0.481	3.231*	1.436

注: 同一列中不同小写字母代表不同土地利用方式下土壤养分含量有显著差异 ($p < 0.05$), 相同字母表示在此水平下无显著差异 ($p > 0.05$); **表示在 0.01 水平上有显著差异, *表示在 0.05 水平上有显著差异。

3.2 土壤质量综合评价

根据公式(3)计算出不同土地利用方式下的平均土壤质量指数(SQI), 其中耕地为 0.39, 林地为 0.48, 荒漠灌丛为 0.32, 盐碱草地为 0.24。通过单因素方差分析中最小显著极差法, 对不同土地利用方式下土壤质量指数(SQI)均值进行差异显著性检验和多重比较。分析认为, 不同土地利用方式之间土壤质量指数(SQI)均值存在显著差异 ($p < 0.05$)。在不同土地利用方式下, 土壤质量指数(SQI)的平均水平由高到低依次为: 林地 > 耕地 > 荒漠灌丛 > 盐碱草地。土壤质量指数越大, 说明土壤质量越好。因此, 认为林地的土壤质量最高, 盐碱草地的土壤质量最低。

在 SPSS 20.0 软件中, 对各采样点的土壤质量指数(SQI)做正态 K-S 检验后可知其服从正态分布, 然后在 GS⁺ 9.0 软件中做半方差函数分析, 得知土壤质量指数(SQI)的最优半方差函数理论模型为指数模型, 模型决定系数(R^2)达到 0.727, 残差(RSS)小于 0.01, 满足地统计学空间插值精度的基本要求, 故使

用 ArcGIS 9.3 软件中的地统计分析模块对研究区各采样点土壤质量指数(SQI)进行普通克里格插值, 并生成研究区土壤质量指数空间分布图(图 1)。

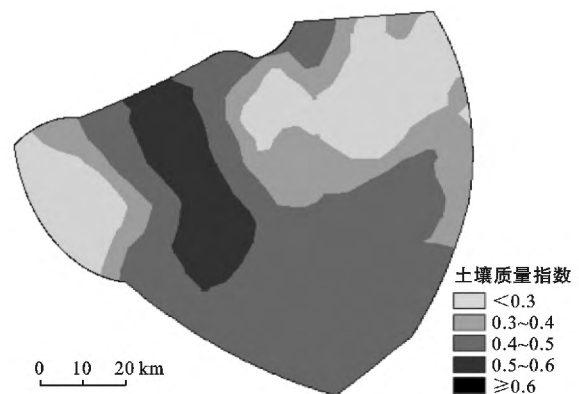


图 1 研究区土壤质量指数空间分布

参照土壤质量指数(SQI)评价分级标准^[16], 将渭—库绿洲土壤质量分成以下 5 级: $\text{SQI} \leq 0.30$ 为 I 级, 土壤质量等级为极低; $0.30 < \text{SQI} \leq 0.40$ 为 II 级,

土壤质量等级为低; $0.40 < SQI \leq 0.50$ 为Ⅲ级, 土壤质量等级为中; $0.50 < SQI \leq 0.60$ 为Ⅳ级, 土壤质量等级为高; $SQI > 0.60$ 为Ⅴ级, 土壤质量等级为极高。由图1可知, 研究区土壤质量指数(SQI)从渭一库绿洲中部向边缘地带逐渐过渡, 并呈不断降低趋势。绿洲区域的土壤质量指数(SQI)值大都在0.50以下, 只有部分区域的SQI值可达Ⅳ级水平, 即三角洲绿洲中部区域。另有少数区域的土壤质量相对较高, SQI值最高可达0.69, 土壤质量为极高类别。总体来说, 渭一库绿洲的土壤质量处于中低水平, 只有少部分区域具有较高水平的土壤质量。

4 讨论与结论

(1) 由统计分析可知不同土地利用方式下的土壤元素平均水平存在一定的差异, 其中, 林地的土壤肥力要高于其他的土地利用类型, 而盐碱草地的肥力最差。由分析结果显示, 4种土地利用方式的pH值都为碱性, 故渭一库绿洲的土壤均属碱性土壤类型, 符合中国西北干旱地区土壤多为石灰性或碱性的特征。

(2) 分析不同土地利用方式下的土壤质量平均水平可知, 渭一库绿洲土壤质量由高到低的顺序依次为: 林地 > 耕地 > 荒漠灌丛 > 盐碱草地。在4种不同的土地利用方式下林地土壤质量最高, 盐碱草地最低。即认为在不同的土地利用方式下, 苹果园、核桃园和枣园等林地结构为最佳的种植方式, 有利于区域土壤质量的稳定和提高, 对合理、高效利用土地资源, 提高土地生产力具有重要意义。

(3) 通过分析土壤质量指数空间分布图可知, 目前渭一库绿洲的土壤质量多处于中低水平, 只有少部分区域处于高土壤质量水平, 极高水平的土壤质量区域极少出现。

(4) 不同的土地利用方式对土壤质量的影响具有显著的区域差异性, 土壤质量综合评价可揭示人类活动对土壤环境变化影响的区域差异, 可在一定程度上解释“人—地”关系的复杂性^[16]。本研究通过综合指数法定量分析了渭一库绿洲土壤质量与土地利用结构之间的关系, 研究结果表明, 不同土地利用方式下的土壤质量有显著差异, 土地利用结构不同, 土壤质量不同。同时, 土壤质量也成为区域土地利用过程中的重要限制因素。因此, 因地制宜制定合理的土地利用结构, 可为提高该区域土地生产力提供科学依据^[17]。

[参 考 文 献]

- [1] 潘根兴. 地球表层系统土壤学[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 47-49.
- [2] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. SOTER数据库支持下的土壤质量综合评价: 以海南岛为例[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 377-380.
- [3] 桂东伟, 穆桂金, 雷加强, 等. 干旱区农田不同利用强度下土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 894-900.
- [4] 贡璐, 张雪妮, 吕光辉, 等. 塔里木河上游典型绿洲不同土地利用方式下土壤质量评价[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 120-127.
- [5] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响: 以延安市羊圈沟为例[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 51-56.
- [6] 李生, 任华东, 姚小华. 土地利用方式对桂西北石漠化地区土壤理化性质的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 58-62.
- [7] 马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等. 黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6328-6334.
- [8] 李新举, 刘宁, 张雯雯, 等. 黄河三角洲土壤质量自动化评价及指标体系研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 145-148.
- [9] Sumfleth K, Duttman R. Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators[J]. Ecological Indicators, 2008, 8(5): 485-501.
- [10] 王芳芳, 杨涵. 基于RS和GIS的新疆渭干河三角洲的耕地及盐渍化分析[J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 72-79.
- [11] 乔木, 周生斌, 卢磊, 等. 新疆渭干河流域土壤盐渍化时空变化及成因分析[J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 904-910.
- [12] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 31-37.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化性质分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [14] 张汪寿, 李晓秀, 黄文江, 等. 不同土地利用条件下土壤质量综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 311-319.
- [15] 谢瑾, 李朝丽, 李永梅, 等. 纳板河流域不同土地利用类型土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3169-3176.
- [16] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊. 土地利用对土壤性质影响的区域差异研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(8): 1697-1702.
- [17] 潘佩佩, 杨桂山, 苏伟忠. 土地利用变化对土地生产力的影响研究进展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(5): 539-550.