

# 洛惠渠灌区水土化学特性分析

于国强<sup>1</sup>, 李占斌<sup>1</sup>, 张霞<sup>2</sup>, 李鹏<sup>1</sup>, 王双平<sup>3</sup>

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 陕西省环境科学研究设计院, 陕西 西安 710061; 3. 黄委会天水水土保持科学试验站, 甘肃 天水 741000)

**摘要:** 为了深入了解洛惠渠灌区土壤盐碱化程度, 分别测试了 2004 年实地采集的 63 个土壤样品和 71 个地下水样品, 测定项目分别为土壤含盐量、碱化度、阴阳离子含量和地下水化学成分, 并分析了该灌区土壤盐碱化现状以及地下水水质状况。结果表明, 洛惠渠灌区土壤盐碱化较明显, 盐渍化土壤分成盐土和碱土两类, 主体成分为钠(钾)、钙的硫酸盐和碳酸盐; 而地下水化学类型基本属于氯化钠—硫化钠型。通过计算其钠吸附比和镁系数可以推知该灌区地下水大部分对灌溉作物有不利影响, 并且对土壤有进一步碱化的威胁。因此, 有效控制该灌区地下水位是治理土壤盐碱化的重要措施, 还要考虑不同区域土壤易溶盐含量, 作物耐盐碱性等因素。应当综合工程、生物、化学等方法来改良利用盐碱土地, 方能起到事半功倍的治理效果。

**关键词:** 土壤; 盐化; 碱化; 地下水; 化学类型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0103-05

中图分类号: S153.1, P332.7

## Water and Soil Chemical Characteristics in the Luohui Trench Irrigation District

YU Guo-qiang<sup>1</sup>, LI Zhan-bin<sup>1</sup>, ZHANG Xia<sup>2</sup>, LI Peng<sup>1</sup>, WANG Shuang-ping<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environmental Ecology of the MOE,

University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Research and Design Institute of

Environmental Science of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 3. Tianshui Experimental Station of Soil and Water Conservation, the Water Conservancy Committee of the Yellow River, Tianshui, Gansu 741000, China)

**Abstract:** In order to understand the extent of soil salinization in the Luohui Trench Irrigation District, 63 soil samples and 71 groundwater samples were collected in situ in 2004. Soil salt content, degree of alkalization, anion and cation content, and chemical composition of groundwater were measured respectively. The present situation of soil salinization and the status of groundwater quality were analyzed. Results show that soil salinization in the irrigation district is considerably serious. Saline soils may be classified as the two categories of saline soil and alkali soil. The main salinity composition is consisted of sulfate of sodium (potassium), calcium, and carbonate. The chemical characteristic of groundwater is in the category of sodium chloride—sodium sulfide, basically. It can be inferred that most of groundwater in the irrigation district has an adverse effect on irrigated crops according to its sodium adsorption ratio and magnesium coefficient calculated and has a threat of further alkalization to soil. Hence, an effective control of soil salinization is an important measure to control groundwater table in the irrigation district. Such factors as the concentrations of soluble salts of different districts and the salt-alkali tolerance of crops should be taken into account as well. It is suggested that the measures of engineering, biology, and chemistry should be combined to get twice the achievement with half the effort.

**Keywords:** soil; salinization; alkalization; groundwater; chemical type

收稿日期: 2008-03-27

修回日期: 2008-09-11

资助项目: 国家科技支撑项目“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”(2006BAD09B02); 国家自然科学基金项目(4071124); 中日合作项目“沙漠化防治规划研究”(SBS-379)

作者简介: 于国强(1979—), 男(汉族), 内蒙古自治区包头市人, 博士研究生, 从事土壤侵蚀与水土保持等方面的研究。E-mail: yuguogiang23@sina.com。

我国内陆地区土壤母质普遍含有不同程度的盐分,而土壤水分和盐分对作物生长有重要的影响。开垦盐碱化荒地(包括弃耕地)首先要采取洗盐措施,使土壤达到脱盐标准后再进行利用;灌溉排水和农业措施不当,就会抬高地下水位,底土和地下水中大量盐分会随潜水蒸发积聚到土壤上层或地表,造成土壤次生盐渍化,影响作物的正常生长<sup>[1-5]</sup>。因此了解灌区水土化学特征是十分必要的。一方面对评价灌区土壤以及地下水水质情况提供依据;另一方面也是分析地下水盐动态、预测未来土壤含盐量和水质特征的基础。

## 1 研究区概况与研究方法

洛惠渠灌区位于陕西省大荔县,是陕西省主要的大型灌区之一,有着悠久的历史。灌溉面积 320 km<sup>2</sup>,渠首多年平均引水 1.51 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,远远不能满足灌区农业生产需水,因而灌区群众大量开采地下水,渠井双灌面积达 2.00 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。然而,由于灌区地下水矿化度较高,一些地方在井灌后出现作物死苗现象,且井灌后土壤理化性质变差。为了更深入地了解该地区土壤的盐碱化程度,本研究依据 2004 年在灌区实地采集到的水土样品,分析了土壤阴阳离子、地下水化学成分等一些主要指标,研究结果对评价整个灌区土壤盐渍化程度有重要的实际意义,也可为灌区地下水开采、需水量动态调节以及控制盐碱化提供科学依据。

灌区地面 40—50 m 以下的古湖沉积物中富集了大量的可溶盐类,在水循环作用下,古湖沉积物中富集的可溶盐上升,致使潜水矿化度偏高,有些地区水味咸苦,不能饮灌。1950 年前灌区地下水补给来源主要是降雨,其次是塬区潜水和微承压水。由于灌区地下水补给水源供水量少,而蒸发量很大,故地下水埋深较大。

20 世纪 50 年代以后,灌溉用水量加大,灌区内大部分地区是根据微地形上的差异,利用局部水盐调节,使灌溉土地上的盐分向邻近的非灌溉荒地上转移,把地势较低的未垦荒地作为干排积盐地。但也有一部分土地,由于所处地形部位较差,地下水位埋深较浅,因而产生了程度不同的土壤次生盐渍化<sup>[7]</sup>。

一般来说,灌区土壤盐渍化与非盐渍化的盐量界定、适用于农业灌溉的地下水质量浓度(TDS)的上限值应有明确的界定,因为水土盐量界限定位的高低将直接影响到土壤盐渍改良状况的评价结果,以及对开发利用地下水用于农田灌溉的认识和决策。但是到目前为止,国内外学者对这两个盐量的定位还存在不同认识<sup>[8]</sup>。本研究采用美国分类方法,将电导率大于 4 mS/cm 的土壤划分为盐渍土范畴;电导率大于 4

mS/cm,碱化度 EPS < 15%,pH < 8.5 的划分为盐土类;电导率小于 4 mS/cm,碱化度 EPS > 15%,pH > 8.5 的划分为碱土类;电导率大于 4 mS/cm,碱化度 EPS > 15%,pH > 8.5 的划分为盐碱土类。而地下水质量浓度(TDS)上限值 2 g/L 之内的水视为淡水,可用于农田灌溉。

本研究主要采用观测井网来分析采样数据的分布,由于灌区地层北升南降,根据所布设的各井点地理位置及海拔,将整个灌区所研究部分自南向北分为 3 层阶地:第一阶地为 342~360 m;第二阶地为 360~369 m;第三阶地为 370~388 m。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤化学特征

虽然土壤水分对作物生长很重要,但土壤溶液中含盐量对作物的影响也不容忽视。在分析土壤是否适宜作物生长、是否超过作物耐盐极限时,土壤含盐量是一项重要指标。从土壤盐分的来源分析,除部分来源于成土母质外,大部分土壤盐分与水分运移有关。如果土壤水分蒸发过程强于淋洗过程,土壤就积盐,反之就脱盐,可见土壤盐分具有随水而动的特点。

2.1.1 含盐量 根据土壤电导率值,来反映灌区土壤含盐量。在现场实测 63 个样点中,电导率最高值可达 7.84 mS/cm,占所测样点数的 1.6%,分布在第三阶地中部 45<sup>#</sup>井周边,等值线分布稠密;主体电导率值为 0.900~3.084 mS/cm,占所测样点数的 85.9%,均匀分布在第一、二阶地的中部,其中第一阶地偏东有较大分布,位于盐池洼下缘,属积盐区;从整体上看,灌区土壤含盐量北高南低,中部高且向东西两侧边缘区域逐渐减小,呈扇形分布特征(图 1)。

2.1.2 碱度 电导率只是间接反映土壤所含盐分的多少,但它并不能反映土壤成分到底含盐多还是含碱多。因此测定其土壤碱度很有必要。

据统计分析,土壤最大碱度值为 7.658 mg/L,分布在 34<sup>#</sup>井附近,高值区在 63<sup>#</sup>,96<sup>#</sup>,54<sup>#</sup>,37<sup>#</sup>附近也有分布,而不是在含盐量最高的 45<sup>#</sup>附近,恰恰相反,45<sup>#</sup>区域的碱度值最小,为 1.556 mg/L;而主体碱度值均匀分布其它各区域。整体来看,灌区碱度值呈不规则分布,与含盐量有显著差异(图 2)。

2.1.3 土壤盐渍化程度 对 63 个样点土壤电导率、碱化度、pH 值进行统计分析后,可知电导率大于 4 mS/cm 的样点只有 45<sup>#</sup>区域,且该区域碱化度 EPS 为 8.25% < 15%,pH 为 7.81 < 8.5,占总监测样点数的 1.4%,该区域土质属于盐土类;除此以外灌区土壤电导率全部小于 4 mS/cm,碱化度 EPS 小于 15% 的有 38

个,占总样点数的 60.3%,其中 14 个监测点的  $\text{pH} > 8.5$ ,占总样点数的 19.7%,以分布在第一阶地下缘以及盐池洼附近,均属碱土类;其余地区土质较好,盐碱

化程度不明显。由此可得出,洛惠渠灌区土壤质地经计算分级较明显,盐渍化土壤仅分成盐土和碱土两类,其余土质均较好,占总样点数的 76.2%。

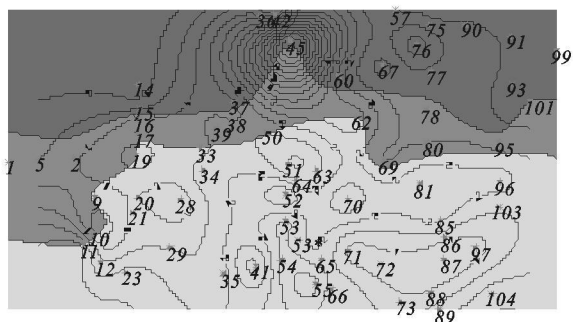


图 1 含盐量等值线图

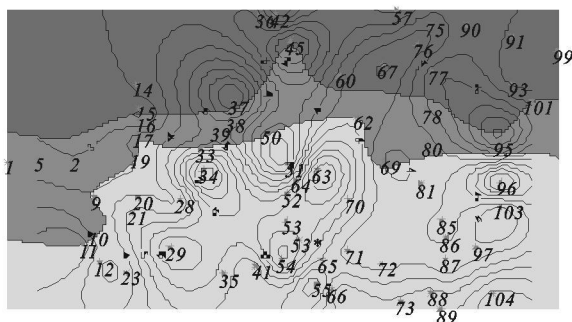


图 2 碱度等值线图

2.1.4 土壤离子特征 通过实验分析得出的土壤化学各参数值见表 1。该灌区土壤阳离子  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  含量最高值为  $1.524 \text{ mol/kg}$ ,分布在  $53^\#$  附近,最低值为  $0.128 \text{ mol/kg}$ ,分布在  $97^\#$  附近,低值区域分布在灌区东西两侧; $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  含量最高值分别为  $1.412$ ,  $1.613 \text{ mol/kg}$ ,均分布在  $45^\#$  区域,最低值为  $0.038$ ,  $0.047 \text{ mol/kg}$ ,分别分布在  $63^\#$ ,  $101^\#$  附近, $\text{Mg}^{2+}$  低值区域也分布在灌区东西两侧,可知阳离子分布与含盐量等值线分布态势较吻合。

阴离子  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  含量最高值分别为  $2.703$ ,  $3.697 \text{ mol/kg}$ ,均分布在  $50^\#$  附近,最低值分别为  $0.007$ ,  $0.065 \text{ mol/kg}$ ,分布在  $97^\#$ ,  $15^\#$  附近; $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  含量最高值为  $0.377 \text{ mol/kg}$ ,分别分布在

$34^\#$  区域,最低值为  $0.0004$ ,  $0.073 \text{ mol/kg}$ ,分布在  $67^\#$ ,  $95^\#$ ,可知  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  与全盐量等值线分布态势较接近, $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  与碱度等值线分布态势基本吻合。

整个灌区各组分盐量的顺序为: $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ ;全盐量的成分包括钠(钾)的硫酸盐、碳酸盐及氯化物,钙的硫酸盐、碳酸盐以及氯化物,少量镁的硫酸盐、碳酸盐以及氯化物;而构成全盐量的主体成分为钠(钾)、钙的硫酸盐和碳酸盐,由此可推知该灌区土壤呈碱化状态。另外,现场实测土壤  $\text{pH}$  值统计结果均在  $8.0$  以上,最大值达到  $8.89$ ,因此可以验证该灌区土壤已呈现碱化状态。

表 1 灌区土壤化学参数值

名称	最大值/ $(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$	最小值/ $(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$	主体值/ $(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$	平均值/ $(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$	实验点数
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	1.524	0.128	0.128~ 1.113	0.545	63
$\text{Ca}^{2+}$	1.412	0.038	0.038~ 0.472	0.226	63
$\text{Mg}^{2+}$	1.613	0.047	0.047~ 0.655	0.194	63
$\text{Cl}^-$	2.703	0.007	0.011~ 0.512	0.184	58
$\text{SO}_4^{2-}$	3.697	0.065	0.065~ 0.654	0.301	58
$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	0.377	0.073	0.073~ 0.377	0.214	66

## 2.2 地下水化学特征

地下水的补给来源为大气降水和地表水。这些水体含有的  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$  等气体以及钙、镁、钠等盐类随水渗入地下后,与周围土壤岩石发生化学作用,使地下水溶有多种化学成分,并分别以气体、离子、分子化合物及有机物等形式存在于地下水中,这些离子、分子、气体等成分不断变化,所以地下水是一种复杂的溶液<sup>[9-10]</sup>。

2.2.1 地下水化学分类 对全灌区 71 个井点的地

下水水样进行化学分析后,运用 H. 托尔斯基汉方格图解法<sup>[11]</sup>,计算出水样阳离子( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )的毫克当量百分数,用个位数  $n_1$  表示,再计算强酸( $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$  等)的毫克当量百分数,用 10 位数  $n_2$  表示,  $(n_1 + n_2)$  值对应方格图中的一点\*,并在方格图上绘出了其位置(图 3),从而可以看出该灌区地下水离子分布特征。

由图 3 分析可知,有 18 个井位的  $(m + n)$  值小于 50,占全灌区的 25%,分布在第一阶地下缘及东西两侧

和第三阶地东侧,说明这些区域含有一定量的重碳酸钠盐和极少量的重碳酸钙盐;其余井位的代码值均大于 50%,说明这些区域的地下水属于氯化物及硫化物的钠盐,分布于灌区各层阶地,可以初步判断整个灌区地下水化学类型基本属于氯化钠—硫酸钠型水。

按照阴阳离子等电量结合规律和盐类溶解度规律,灌区地下水盐类组合的特点为:NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 盐为固定组分,一般含量较高,占总盐量 50%~60%;Mg 盐 [MgSO<sub>4</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>] 在不同地域交替出现,含量占总盐量的 20%~30%;碱类盐 (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>) 含量较低,占总盐量 5%~10%,但其出现频率达 32%,是一个值得注意的问题;另外 Ca 盐 (CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>) 也在不同区域交替出现,含量较低,占总盐量 5%~10%。

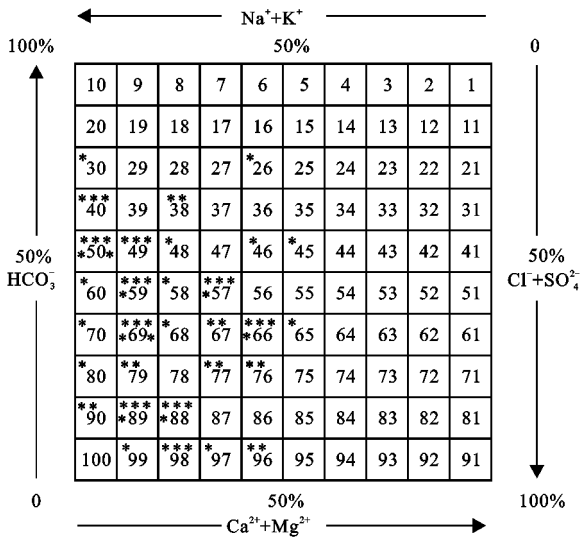


图 3 洛惠渠灌区地下水化学成分分类图

由文献 [7, 12] 可知该灌区地下水矿化度分布年际变化情况,微咸水、咸水所占比例最大,分布面积较广,且呈持续扩大趋势;盐卤水的分布,范围较为稳定。从土壤积盐的原因分析,地下水埋深小于临界深度,就会导致土壤积盐发生,因此土壤盐碱化程度取决于地下水埋深以及地下水化学成分分布。而该灌区的高矿化度水对土壤将有何影响,本研究利用钠吸附比和镁系数分析了现阶段地下水对土壤质地的影响。

2.2.2 钠吸附比 当水溶液中的阳离子与土壤胶体上吸附的阳离子相互交换时,Na<sup>+</sup> 的相对活性称为钠吸附比,用 SAR 表示。一般长期使用 SAR>10 的水灌溉,对土壤有碱化威胁。经分析,洛惠渠灌区地下水 SAR 小于 10 的样点数有 31 个,占总监测点的 43.7%;SAR 在 10~20 (不包括 20) 的样点数有 31 个,占总监测点的 43.7%;SAR ≥20 的样点数有 9

个,占总监测点的 12.6%。由此可知,该灌区 1/2 以上地区的地下水对土壤有碱化的威胁,同时验证并解释了前节(2.1.4 土壤离子特征)结论,与“该灌区土壤已呈现碱化状态”相一致。

2.2.3 镁系数 镁系数表示水中 Mg<sup>2+</sup> 含量占 Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> 含量的百分数,用 K<sub>Mg</sub> 表示。适于作物灌溉的水源 K<sub>Mg</sub> 应小于 50%,当 K<sub>Mg</sub> 大于 50% 时,灌溉对作物开始产生毒害,并对土壤有碱化作用,在 70% 左右,对灌溉极为不利。

对洛惠渠灌区 71 个水样 K<sub>Mg</sub> 值计算与统计分析,小于 50% 的只有 3 个,占总测试点的 4.2%;大于 50% 小于 70% 的有 9 个,占总测试点的 12.7%;大于 70% 的占 83.1%。另外 Mg<sup>2+</sup> 对作物的危害程度与生成的盐类有关,MgCl<sub>2</sub> 危害程度远大于 MgSO<sub>4</sub>,灌区地下水中含 Cl<sup>-</sup> 的含量是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量的 2.4 倍,因此可以判断该灌区的地下水大部分对灌溉作物有不利影响。适宜灌溉的地下水仅分布在第一阶地中部的 55<sup>#</sup> 和西部的 11<sup>#</sup>, 28<sup>#</sup>;若按 50% 计算,可以用作灌溉的地下水范围均分布在第一、二阶地的东西两侧。

### 3 结论

通过对洛惠渠灌区水土化学特征的分析可知,土壤含盐量分布呈现北高南低格局,中部高且向东西两侧边缘区域逐渐减小,呈扇形分布特征;碱度值呈不规则分布,与含盐量有显著差异;由此可得出,洛惠渠灌区土壤类别分级较明显,盐渍化土壤仅分成盐土和碱土两类,而整个灌区土壤含盐量的主体成分为钠(钾)、钙的硫酸盐和碳酸盐,因此该灌区土壤已呈现碱化状态。而地下水化学类型基本属于氯化钠—硫酸钠型水,通过计算其钠吸附比和镁系数可以推知该灌区地下水大部分对灌溉作物有不利影响,并且对土壤有进一步碱化的威胁。

因此,从灌区发展趋势看,科学合理地开采地下水,有效控制该灌区地下水位是治理土壤盐碱化的重要措施。同时,还要考虑不同区域土壤易溶盐含量,作物耐盐碱性等因素,采用综合工程(灌溉排水)、生物(耐盐作物)、化学(改良剂)等方法<sup>[13-16]</sup>,因地制宜地采取适当措施来改良利用盐碱土地,在生产实践上具有非常重要的意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李韵珠,陆景文,黄坚.蒸发条件下黏土层与土壤水盐运移[C]//国际盐渍土改良学术讨论会论文集.北京:国际盐渍土改良学术讨论会,1985:176-180.
- [2] 石元春,辛德惠.黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理[M].河北:河北人民出版社,1983.

- [3] 王葆芳, 杨晓晖, 江泽平. 引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 139-143.
- [4] 王嵩, 冯平, 李建柱. 地下水生态环境控制指标问题的研究现状[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(4): 98-103.
- [5] 张长春, 邵景力, 李慈君, 等. 内陆干旱半干旱盆地地下水生态环境指标研究[J]. 湘潭矿业学院学报, 2003, 18(1): 24-27.
- [6] 《洛惠渠志》编纂委员会. 洛惠渠志[M]. 陕西: 陕西人民出版社, 1995.
- [7] 张霞, 李占斌, 李鹏. 洛惠渠灌区地下水动态变化规律研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(8): 223-226.
- [8] 汪林, 甘泓, 汪珊, 等. 宁夏引黄灌区水盐循环演化与调控[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [9] 陈梦熊, 马凤山. 中国地下水资源与环境[M]. 北京: 地震出版社, 2002.
- [10] 戴长雷, 迟宝明. 地下水监测研究进展[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 86-88.
- [11] 朱学愚, 钱孝星. 地下水水文学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [12] Yamamoto S, Haruta T, Endo T. Topographic Sequence of Soil in Luohui Irrigation Scheme, China[C]// Core University Program Japan-China Joint Open Seminar on Combating Desertification and Development in Inland China. Shaanxi, Yangling: Combating Desertification and Development in Inland China of Year 2005, 2005: 32-34.
- [13] 张展羽, 郭相平, 詹红丽, 等. 微咸水灌溉条件下土壤和地下水含盐量空间变异分析[J]. 灌溉排水, 2001, 20(3): 6-9.
- [14] 王全九, 王文焰, 汪志荣, 等. 排水地段土壤盐分变化特征分析[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 271-276.
- [15] 吐马尔白, 马英杰. 克孜勒苏地区水盐监测与分析[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(3): 47-49.
- [16] 韩双平, 荆继红, 孙继朝. 银川北部平原土壤水分运动状态类型及水盐运移机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 148-152.

(上接第87页)

- [6] 崔鹏, 高克昌, 韦方强. 泥石流预测预报研究进展[J]. 中国科学院院刊, 2005, 20(5): 363-369.
- [7] 陈景武, 蒋家沟暴雨泥石流预报研究[M]// 吴积善, 康志成, 田连权. 云南蒋家沟泥石流观测研究. 北京: 科学出版社, 1990: 197-213.
- [8] 陈景武. 降雨预报泥石流原理及方法[C]// 第二届全国泥石流学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 1991: 84-89.
- [9] 谭万沛. 八步里沟降雨的垂直分布特征与泥石流预报的雨量指标[J]. 四川气象, 1988, 8(2): 25-28.
- [10] 谭万沛. 泥石流沟的临界雨量线分布特征[J]. 水土保持通报, 1989, 9(6): 21-26.
- [12] 周金星. 山洪及泥石流灾害预警技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2001.
- [13] 韦方强, 胡凯衡, 崔鹏, 等. 不同损失条件下的泥石流预报模型[J]. 山地学报, 2002, 20(1): 97-102.
- [14] 王晓青, 石绍先, 丁香. Bayes 判别分析法与地震短临预测[J]. 地震, 1999, 19(1): 33-40.
- [15] 雷兢, 沈斐敏. 贝叶斯(Bayes)判别分析理论在安全评价中的应用[J]. 工业安全与环保, 2004, 30(5): 39-40.
- [16] 吴正华. 北京泥石流灾害及其降水触发条件[J]. 水土保持研究, 2001, 8(1): 67-72.
- [17] 张文彤. SPSS 11.0 统计分析教程(高级篇)[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002: 178-180.
- [18] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 230-235.
- [19] 谭万沛. 中国暴雨泥石流预报研究基本理论与现状[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 88-95.
- [20] 王礼先, 于志民. 山洪及泥石流灾害预报[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 124-175.