

山南乃东区支那河流域土壤盐渍化特征分析

张飞龙, 黄利英* (西藏自治区农牧科学院农业质量标准与检测研究所, 西藏拉萨 850000)

摘要 为了探明山南乃东区支那河流域土壤盐渍化特征, 以支那河周边盐渍化程度严重弃耕农田为对象, 采用相关分析法和主成分分析法, 开展盐渍化危害离子的研究, 旨在为该区域盐渍化耕地改良提供科学依据。结果表明, 研究区土壤属酸性土壤。土壤总盐随着土层深度的增加而降低, 呈现表聚型特征。表层土壤总盐含量为 7.34 g/kg, 评价属于重度盐渍化。0~20 cm 表层土壤全盐量与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 表现出极强的相关性, 20~50 cm 土层全盐量与 Cl^- 的相关性明显减弱, 2 个剖面 pH 与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 呈现负相关。主成分分析结果表明, 0~20 cm 与 20~50 cm 土层主成分基本一致, 结合各离子的剖面含量特征可知, 影响该地区土壤中盐渍化的主要盐分是硫酸化盐。

关键词 土壤盐渍化; 变化特征; 相关分析; 主成分分析; 山南乃东区支那河流域

中图分类号 S 156.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)24-0102-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.24.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis on the Characteristics of Soil Salinization in Zhina River Basin of Shannan Naidong District

ZHANG Fei-long, HUANG Li-ying (Institute of Agricultural Quality Standards and Testing, Tibet Autonomous Region Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa, Tibet 850000)

Abstract In order to explore the characteristics of soil salinization in Zhina River Basin of Shannan Naidong District, taking the abandoned farmland with severe salinization around the Zhina River as the object, the correlation analysis method and principal component analysis method were used to carry out research on salinization hazardous ions, aiming to provide a scientific basis for the improvement of salinized cultivated land in this area. The results showed that the soil in the study area was acidic soil. The total soil salt decreased with the increase of soil depth, showing phenotype characteristics. The total salt content of the surface soil was 7.34 g/kg, which was evaluated as severe salinization. There was a strong correlation between the total salt content of the 0-20 cm surface layer and Cl^- , SO_4^{2-} , and the correlation between the total salt content of the 20-50 cm soil layer and Cl^- was obviously weakened, and the pH of the two profiles was negatively correlated with Cl^- and SO_4^{2-} . The results of principal component analysis showed that the principal components of the 0-20 cm and 20-50 cm soil layers were basically the same. Combined with the profile content characteristics of each ion, it could be known that the main salt that affected the salinization of the soil in this area was sulfated salt.

Key words Soil salinization; Change characteristics; Correlation analysis; Principal component analysis; Zhina River Basin of Shannan Naidong District

土壤盐渍化是一种土壤退化的形式, 也是一种生态环境恶化的现象^[1]。近年来, 土壤盐渍化与次生盐渍化问题日益突出, 盐渍化耕地面积不断扩大, 区域生态环境急剧恶化, 严重影响了农作物的生长发育^[2]。盐渍土的发生受区域性因素的影响较大, 其盐分组成及离子比例具有明显的地域特点, 积盐、脱盐过程以及盐分组成随生物、气候、地带性土壤的发生过程的不同存在较大差异^[3]。山南市乃东区亚堆乡支那村, 由于特殊的气候和土壤条件, 灌区内存在大面积的盐渍化土壤, 据支那村干群反映, 自 1984 年开始, 农田灌溉用水出现水质异变, 导致该村 82.2 hm² 土地长期灌溉异变超标水, 耕地出现重度盐碱化, 严重影响当地农牧业发展, 给农牧民群众生产带来极大损失, 严重制约了当地农业生产可持续发展。土壤盐分含量是研究土壤盐渍化的重要指标, 在目前土地整体质量不断恶化的情况下, 土壤盐渍化的研究就成了一项很重要的课题^[4]。

目前, 国内外学者就土壤盐渍化开展了大量的研究工作^[5-6], 但对青藏高原盐渍土壤的形成原因、分布特征、改良措施等研究基本处于空白。该研究选择西藏山南市乃东区亚堆乡支那村支那河流域小区域盐渍化土壤为研究对象, 旨在摸索该区域土壤盐渍化情况, 研究其土壤盐渍化特征, 为

该区域土壤盐渍化控制与修复奠定一定的基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于西藏山南乃东县南部(28°57'28" N, 91°56'10" E), 平均海拔 3 560 m。最高海拔为 6 647 m 的雅拉香波山是天然的雪山冰川, 是该区域的主要水源。研究区属高原温带季风气候, 空气稀薄, 乃东年平均气温 8.8 °C, 年均气压 660.4 hPa, 年均太阳辐射 6 018.9 MJ, 年均降水量 383.2 mm, 流域土壤 pH 小于 7.0, 呈酸性。

1.2 样品采集 采样地点选择盐渍化较为严重的支那河流域周边弃耕土壤。为保证土壤样品具有代表性, 采样点选择面积较大地块, 沿着支那河设置 6 个点, 采用五点法采样, 分别采取 0~20 cm 与 20~50 cm 的表层土样, 混合后用四分法取约 500 g 的土样用自封袋装好带回实验室, 每个地块采集 5 份样品, 用于后续测试。采样时期为 2018 年 5 月下旬。

1.3 土壤样品处理与分析测定 将现场收集的土壤样品带回实验室, 在 55 °C 下干燥, 然后将其压碎并通过 2 mm 筛后进行试验。以土壤/水的比例(1:5, W/V) 搅拌并混合土壤样品, 充分摇动并静置 48 h, 然后取上清液并通过 0.45 μm 滤膜以制备测量溶液。采用电导法使用电导率仪(DDS-307A 型, 上海)在土壤/水(1:5, W/V) 制备测量溶液中测定土壤总盐。使用 pH 计(PB-10, Germany)在土壤/水(1:5, W/V) 中测量土壤 pH。用阴离子色谱仪(DX-120, USA)对样品中阴离子进行分析。通过 ICP-MS(Thermo Fisher X-series, USA)

基金项目 西藏自治区科技厅重点研发计划(XZ201901NB06)。

作者简介 张飞龙(1987—), 男, 陕西佳县人, 助理研究员, 硕士, 从事农业环境研究。* 通信作者, 研究员, 从事农业环境研究。

收稿日期 2021-03-28

和 ICP-AES(TJA IRIS-Advantage, USA) 分析测定金属离子。

1.4 数据处理与分析 采用 Excel 2007 进行土壤盐离子含量特征等统计分析; 采用 SPSS 25.0 进行相关性分析与主成分分析。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分及其化学组分的剖面特征 开展对研究区土壤 0~20 cm 与 20~50 cm 2 个剖面各可溶性离子的检测分析, 通过分析 2 个土壤剖面盐分及其化学组分的含量特征可揭示研究区耕作层土壤盐分的整体特征。根据 NY/T 1121.16—2006 对土壤水溶性盐总量划分标准, 土壤水溶性盐总量 <2 g/kg 为非盐渍化, 2~4 g/kg 为轻度盐渍化, >4~6 g/kg 为中度盐渍化, >6~10 g/kg 为重度盐渍化, >10 g/kg 为盐土。从土壤盐分统计特征参数(表 1) 可看出, 支那河区域 0~20 cm 表层土壤总盐平均值为 7 340.00 mg/kg, 属于重度盐渍化, 而 20~50 cm 属于非盐渍化, 这是由于荒地长期无灌溉, 主要受降雨影响, 而耕地要进行灌溉, 受灌溉水的淋洗作用, 灌溉期间耕地盐分被淋洗到深层土壤, 而无灌溉水淋洗的荒地地下水在毛管作用下向上移动, 盐分向上层土壤积聚, 在强蒸发作用下表层土壤盐分显著增加, 最终盐分积聚在表层^[7]。随着土层深度的变化, 土壤中主要盐离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 表现出明显不同的变化。在水平方向上, 0~20 cm 土壤剖面的主要化学组分中阳离子含量大小顺序均为 $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, 阴离子含量大小顺序均为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$, 在 20~50 cm 土壤剖面的主要化学组分中阳离子含量大小顺序均为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, 阴离子

含量大小顺序均为 $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$, 2 个剖面土壤中主要阴盐离子为 SO_4^{2-} , 明显大于其他离子, 说明土壤中硫酸化物最多, 其次为 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , 在 0~20 cm 土壤中以平均值计算含量分别占总盐的 77.56%、5.48% 和 12.13%, 在 20~50 cm 土壤中以平均值计算含量分别占总盐量的 54.59%、12.22% 和 4.95%。在垂直方向上, 土壤离子及全盐自上而下呈现出垂直分异的特点, 从平均值来看, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量 0~20 cm 明显高于 20~50 cm, 呈明显的表聚效应, HCO_3^- 含量 0~20 cm 低于 20~50 cm, 呈一定的底聚效应。总盐量随深度的变化呈显著下降的趋势, 这与王彤等^[5] 的研究结果一致。研究区土壤为酸性土, pH 随深度的变化而上升, 由于不同土壤深度的 pH 均小于 6, 故 CO_3^{2-} 不能存在。一般情况灌溉农业区土壤聚盐和脱盐过程并存, 支那河流域表层土壤具有较高的全盐, 说明盐离子主要发生聚盐过程, 由于是弃耕土壤, 主要靠雨水的淋洗, 脱盐过程不明显, 这与该地区常年风大、雨量少、蒸发量大的高原环境有着密切的关系。

变异系数能反映随机变量的离散程度, 一般认为变异系数 $\text{CV} \leq 10\%$ 为弱变异性, $10\% < \text{CV} < 100\%$ 为中等变异性, $\text{CV} \geq 100\%$ 为强变异性, 离散程度越大表明成分的空间变异性越大^[8]。不同土层深度 pH 的变异系数均较小, 说明变异性较弱。在 0~20 cm 土层, Mg^{2+} 和 HCO_3^- 的变异系数均大于 100%, 说明空间变异性较大, 受地形地貌与水文气象条件等因素的影响较大^[9]。其余不同土层各离子都属于中等变异性, 说明该流域土壤全盐水平分布不均, 有较强的空间异质性。

表 1 土壤盐分统计特征参数

Table 1 Statistical characteristic parameters of soil salinity

土层 Soil layer cm	参数 Parameter	离子组成 Ion composition // mg/kg							pH	总盐 Total salt mg/kg
		Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}		
0~20	最小值	38.63	1 738.89	11.98	0.83	1.39	133.20	82.73	3.75	2 604.78
	最大值	242.00	11 909.90	206.78	25.97	57.80	541.77	2 163.90	4.51	14 737.70
	平均值	118.49	5 692.55	85.96	15.61	29.83	402.07	890.10	4.20	7 340.00
	标准偏差	88.58	4 450.14	86.15	10.73	23.03	190.17	911.41	0.48	5 298.97
	变异系数//%	74.75	78.17	100.22	68.71	77.21	47.30	102.39	11.35	72.19
20~50	最小值	2.31	198.03	86.06	0.37	1.46	46.43	13.63	4.98	488.97
	最大值	24.74	617.38	216.31	1.06	4.88	127.81	62.21	5.72	952.42
	平均值	11.79	380.42	166.17	0.63	3.30	85.13	34.50	5.36	696.83
	标准偏差	9.48	175.49	57.24	0.31	1.41	33.34	20.41	0.30	192.19
	变异系数//%	80.37	46.13	34.45	49.59	42.65	39.17	59.18	5.64	27.58

2.2 盐离子相关性分析 对不同剖面土壤中盐离子之间的相关性分析, 不仅可以揭示离子与全盐量及离子之间的相互关系, 还能在一定程度上反映出盐分在土壤中的运移趋势^[10]。相关性分析结果表明(表 2), 0~20 cm 土层 pH 与 K^+ 、 Na^+ 呈极显著相关, 与 Ca^{2+} 相关性弱, 与其他离子呈显著相关; Mg^{2+} 与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、总盐呈极显著相关, 与 K^+ 、pH 呈显著相关; Ca^{2+} 与其他离子相关性较弱; Na^+ 与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、pH、总盐呈极显著相关, 与 HCO_3^- 呈显著相关; HCO_3^- 与 K^+ 、 Na^+ 、pH 呈显著相关; SO_4^{2-} 与 Cl^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、总

盐呈极显著相关, 与 K^+ 、pH 呈显著相关; Cl^- 与 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、总盐呈极显著相关, 与 K^+ 、pH 呈显著相关; 总盐与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 呈极显著相关, 与 K^+ 、pH 呈显著相关。20~50 cm 土层总盐与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、pH 呈极显著相关, 与 Cl^- 、 HCO_3^- 、 Na^+ 呈显著相关; pH 与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、总盐呈极显著相关, 与 Mg^{2+} 呈显著相关; Mg^{2+} 与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、总盐呈极显著相关, 与 Cl^- 、 HCO_3^- 、 Na^+ 呈显著相关; Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 、pH、总盐呈极显著相关, 与 Cl^- 、 Na^+ 呈显著相关; Na^+ 与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、总盐呈显著相关; HCO_3^- 与

Cl^- 、 Ca^{2+} 、pH 呈极显著相关,与 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、总盐呈显著相关; SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、pH、总盐呈极显著相关,与 Cl^- 、 HCO_3^- 、 Na^+ 呈显著相关; Cl^- 与 HCO_3^- 、pH 呈极显著相关,与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、总盐呈显著相关。

综合以上分析,对比不同土层各盐分离子之间的相关性可知,随着土壤深度的变化,各离子间的相关系数也随着改变,在土壤表层 0~20 cm 总盐与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 表现出极强的相关性,与 Na^+ 、 Mg^{2+} 也表现出极显著的相关性;在土层 20~

50 cm,总盐与 Cl^- 的相关性明显减弱,说明该地区土壤在经历脱盐和积盐过程中主要以硫酸盐的运移为主,而氯化盐在土壤中运移缓慢,这与王彤等^[5]的研究结果一致。不同剖面 pH 与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 呈现负相关性,说明 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量越高,pH 越低;与 HCO_3^- 呈现正相关性,因为 HCO_3^- 属于碱性离子,其含量越高,pH 越高。随着深度的增加, SO_4^{2-} 与 Cl^- 的相关性明显减弱,与 HCO_3^- 的相关性明显加强。

表 2 土壤盐分离子相关关系矩阵

Table 2 Correlation matrix of soil salt segregators

土层 Soil layer//cm	因子 Factor	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	pH	总盐 Total salt
0~20	Cl^-	1								
	SO_4^{2-}	0.999**	1							
	HCO_3^-	-0.752	-0.743	1						
	K^+	0.863*	0.859*	-0.896*	1					
	Na^+	0.952**	0.949**	-0.890*	0.971**	1				
	Ca^{2+}	-0.445	-0.477	0.177	-0.318	-0.402	1			
	Mg^{2+}	0.991**	0.995**	-0.720	0.850*	0.942**	-0.561	1		
	pH	-0.856*	-0.847*	0.881*	-0.924**	-0.920**	0.125	-0.812*	1	
	总盐	0.991**	0.999**	-0.745	0.862*	0.950**	-0.459	0.993**	-0.853*	1
	20~50	Cl^-	1							
SO_4^{2-}		0.867*	1							
HCO_3^-		-0.958**	-0.908*	1						
K^+		0.163	0.005	-0.321	1					
Na^+		0.771	0.882*	-0.800	-0.004	1				
Ca^{2+}		0.896*	0.967**	-0.934**	0.178	0.831*	1			
Mg^{2+}		0.818*	0.995**	-0.870*	-0.052	0.878*	0.941**	1		
pH		-0.949**	-0.934**	0.958**	-0.215	-0.779	-0.985**	-0.894*	1	
总盐		0.844*	0.999**	-0.887*	-0.022	0.881*	0.963**	0.997**	-0.922**	1

注:*. 在 0.05 级别(双尾),相关性显著;*. 在 0.01 级别(双尾),相关性极显著

Note: *. At the 0.05 level (two-tailed), the correlation is significant; *. At the 0.01 level (two-tailed), the correlation is extremely significant

2.3 土壤盐分离子主成分分析 通过对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、pH 和总盐 9 个因子含量进行主成分分析,建立具有代表性和限制性的土壤盐渍化特征因子,将其中具有错综复杂关系的因子进行降维,以方差累计贡献率大于 80% 作为依据来确定因子个数,在信息损失最小的情况下选取主导因子,对 9 个因子进行主成分分析,以对土壤盐渍化作出正确的评价^[11]。通过对 0~20 cm 表层土壤 9 个因子进行主成分分析,得到各主成分特征值与方差贡献率(表 3),只有前 2 个主成分的特征值大于 1,第 1、第 2 主成分的特征值分别为 7.41、1.14,贡献率分别为 82.29%、12.64%,第 1、第 2 主成分累计贡献率为 94.93%,说明 9 个主成分因子中第 1、第 2 主成分占主要部分。通过对 20~50 cm 表层土壤 9 个因子进行主成分分析,得到各主成分特征值与方差贡献率(表 4),只有前 2 个主成分的特征值大于 1,第 1、第 2 主成分的特征值分别为 7.35、1.15,贡献率分别为 81.64%、12.72%,第 1、第 2 主成分累计贡献率为 94.36%,说明 9 个主成分因子中第 1、第 2 主成分占主要部分。从以上分析可知,0~20 cm 第 1、第 2 主成分与 20~50 cm 第 1、第 2 主成分特征值与方差贡献率没有显著差异,说明二者可能第 1、第 2 主成分

基本一致。

从 0~20 cm 土壤因子得分矩阵(表 5)可以看出,土壤第 1 主成分与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 和总盐呈正相关,说明这几种离子含量与第 1 主成分相关性较高;第 2 主成分与 pH 呈正相关,说明第 2 主成分与盐渍化土壤酸碱度有较强的相关性。载荷值的大小反映该指标对主成分的贡献率^[10],从主成分载荷值来看,与第 1 主成分密切相关的离子载荷值都大于 0.9,说明这 5 种离子与 0~20 cm 土壤盐渍化密切相关,而这 5 种离子与总盐都有显著的相关性,5 种离子之间也有极强的相关性,由此可以推断 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 是影响土壤盐分的主要离子。从 20~50 cm 土壤因子得分矩阵(表 5)可以看出,土壤第 1 主成分与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和总盐呈正相关,第 2 主成分与 K^+ 呈正相关,说明 20~50 cm 土壤盐渍化不仅受到 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和总盐影响, K^+ 对其有一定程度的影响。从上述分析得知 0~20 cm 土层第 1 主成分相关离子与 20~50 cm 土层第 1 主成分相关离子基本一致,结合土壤 SO_4^{2-} 的剖面含量特征可知,在 0~20 cm 土壤中 SO_4^{2-} 以平均值计算含量占总盐量的 77.56%,在 20~50 cm 土壤中 SO_4^{2-} 以平均值计算含量占总盐的

54.59%,说明影响该地区土壤中盐渍化的主要盐分是硫酸化盐。

表 3 0~20 cm 土壤盐渍化主成分的特征值与方差贡献率

Table 3 The eigenvalues and variance contribution rates of principal components of 0~20 cm soil salinization

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取载荷平方和 Extract the sum of squared loads		
	特征值 Eigenvalues	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%	特征值 Eigenvalues	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%
1	7.41	82.29	82.29	7.41	82.29	82.29
2	1.14	12.64	94.93	1.14	12.64	94.93
3	0.36	3.98	98.91			
4	0.08	0.93	99.84			
5	0.01	0.16	100			
6	1.18×10^{-15}	1.31×10^{-14}	100			
7	2.14×10^{-16}	2.38×10^{-15}	100			
8	-1.20×10^{-16}	-1.33×10^{-15}	100			
9	-4.19×10^{-16}	-4.65×10^{-15}	100			

表 4 20~50 cm 土壤盐渍化主成分的特征值与方差贡献率

Table 4 The eigenvalues and variance contribution rates of the principal components of 20~50 cm soil salinization

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalues			提取载荷平方和 Extract the sum of squared loads		
	特征值 Eigenvalues	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%	特征值 Eigenvalues	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%
1	7.35	81.64	81.64	7.35	81.64	81.64
2	1.15	12.72	94.36	1.15	12.72	94.36
3	0.27	2.98	97.34			
4	0.19	2.09	99.43			
5	0.05	0.57	100			
6	7.59×10^{-16}	8.43×10^{-15}	100			
7	2.09×10^{-16}	2.32×10^{-15}	100			
8	1.46×10^{-17}	1.63×10^{-16}	100			
9	-7.04×10^{-16}	-7.82×10^{-16}	100			

表 5 主成分因子载荷矩阵

Table 5 Principal component factor loading matrix

因子 Factor	0~20 cm		20~50 cm	
	主成分 1 Main component 1	主成分 2 Main component 2	主成分 1 Main component 1	主成分 2 Main component 2
Cl ⁻	0.979	0.082	0.928	0.108
SO ₄ ²⁻	0.977	0.116	0.985	-0.130
HCO ₃ ⁻	-0.859	0.331	-0.959	-0.227
K ⁺	0.940	-0.153	0.122	0.978
Na ⁺	0.993	-0.050	0.887	-0.158
Ca ²⁺	-0.430	-0.865	0.984	0.058
Mg ²⁺	0.970	0.205	0.963	-0.196
pH	-0.897	0.427	-0.972	-0.125
总盐	0.978	0.098	0.977	-0.162

3 结论

(1) 研究区不同深度土壤 pH 均小于 6,属于强酸性土,pH 随深度的增加而上升。硫酸盐是研究区盐渍化土壤最主要可溶性盐,SO₄²⁻以平均值计算在 0~20 和 20~50 cm 土层中含量分别占总盐量的 77.56% 和 54.59%。土壤评价属于重度盐渍化,总盐含量随土壤深度的增加而下降,呈现明显的表聚型特征。土壤可溶性离子及总盐自上而下呈现出垂直

分异的特点,盐渍化的空间变异性较大,0~20 和 20~50 cm 土层各离子含量呈现明显的差异。

(2) 离子相关性研究结果表明,0~20 cm 表层土壤总盐与 Cl⁻、SO₄²⁻表现出极强的相关性。20~50 cm 土层总盐与 Cl⁻的相关性明显减弱,但与 SO₄²⁻仍表现出极强的相关性,说明该地区土壤在经历脱盐和积盐过程中主要以硫酸盐的运移为主,而氯化盐在土壤中运移缓慢。2 个剖面 pH 与 Cl⁻、SO₄²⁻呈现负相关,说明 Cl⁻、SO₄²⁻含量越高,pH 越低。

(3) 主成分分析结果表明,0~20 cm 与 20~50 cm 土层主成分基本一致,主要特征离子是 Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、Mg²⁺,结合各离子的剖面特征可知,影响该地区土壤中盐渍化的主要盐分是硫酸化盐。

参考文献

- [1] 李建国,濮劭杰,朱明,等.土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J].地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [2] 侯玉明,王刚,王二英,等.河套灌区盐碱土成因、类型及有效的治理改良措施[J].现代农业,2011(1):92-93.
- [3] 张小由,龚家栋,周茂先.额济纳三角洲土壤盐分特征分析[J].中国沙漠,2004,24(4):442-447.
- [4] 郝桂喜,徐隆华,顾超,等.济南市大田土壤盐渍化发生状况分析[J].农业与技术,2019,39(16):25-27.
- [5] 王彤,封超年,靳瑞萍,等.苏北滨海盐碱土壤盐渍化特征[J].江苏农业科学,2018,46(19):339-343.

用地及耕地的开发利用,水域及非湿地的优势正在逐渐下降。

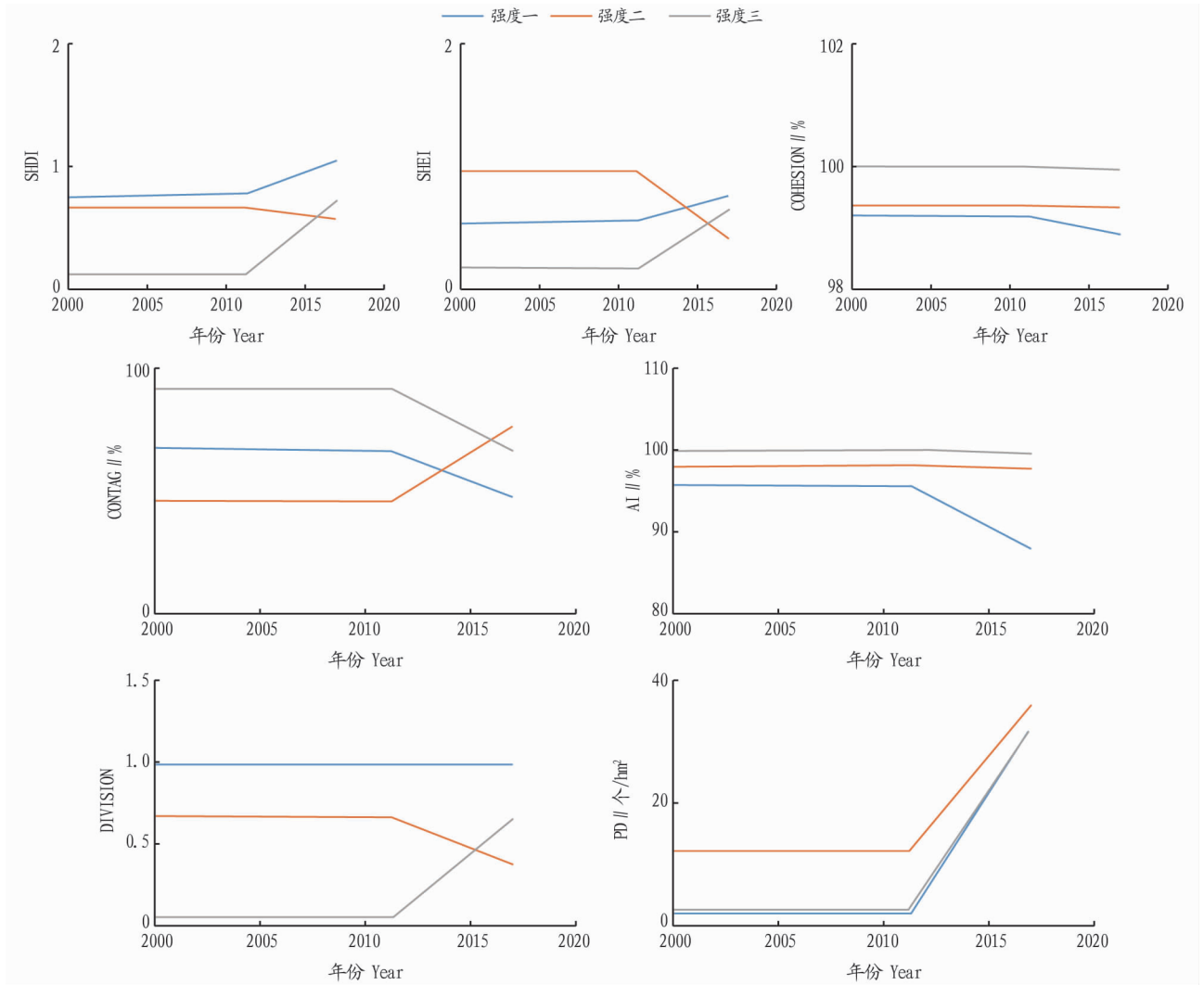


图 4 不同人类活动强度下的水平景观指数

Fig.4 Horizontal landscape index under different human activity intensities

(2) 黄山市景观类型不断丰富,景观整体呈现破碎化的趋势,不同景观的细化程度不断加深。

(3) 在人类活动的影响下,黄山市湿地景观趋于向整体化、简单化、规则化发展。

参考文献

[1] 衷平,杨志峰,崔保山,等.公路对湿地的生态效应及其反馈的研究进展[J].湿地科学,2009,7(1):89-98.

[2] 张景华,封志明,姜鲁光,等.道路干扰对澜沧江流域景观格局的影响[J].自然资源学报,2013,28(6):969-980.

[3] 张翠.人类活动干扰下的黄河三角洲湿地景观格局变化研究[D].济南:山东师范大学,2016.

[4] 韩美,张翠,路广,等.黄河三角洲人类活动强度的湿地景观格局梯度响应[J].农业工程学报,2017,33(6):265-274.

[5] 陈康娟,王学雷.人类活动影响下的四湖地区湿地景观格局分析[J].长江流域资源与环境,2002,11(3):219-223.

[6] 向芸芸,蒙古军.漓江流域旅游开发对景观格局干扰的时空分异[J].山地学报,2014,32(1):11-20.

[7] 李建国.环洪泽湖区不同人类活动强度对湿地景观的影响[D].重庆:重庆师范大学,2011.

[8] 丁鹏凯,李国庆,王晶,等.人类活动对若尔盖湿地景观格局的影响[J].人民黄河,2016,38(7):58-63.

[9] 董文雪,王方雄,侯英姿.基于 GIS/RS 的滨海湿地景观格局多尺度分析:以辽宁省大洼县为例[J].安徽农业科学,2013,41(32):12672-12676.

[10] 李秀珍,布仁仓,常禹,等.景观格局指标对不同景观格局的反应[J].生态学报,2004,24(1):123-134.

[11] 徐勇,孙晓一,汤青.陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J].地理学报,2015,70(7):1068-1079.

(上接第 105 页)

[6] 吐尔逊·艾山,吐热尼古丽·阿木提.新疆开都河流域下游绿洲盐渍化土壤特征[J].安徽农业科学,2017,45(5):99-101,110.

[7] 任东阳,徐旭,黄冠华.河套灌区典型灌排单元农田耗水机制研究[J].农业工程学报,2019,35(1):98-105.

[8] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等.黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变

异特征研究[J].农业工程学报,2006,22(6):61-66.

[9] 贾艳红,赵传燕,南忠仁.黑河下游地下水波动带土壤盐分空间变异特征分析[J].干旱区地理,2008,31(3):379-388.

[10] 郭军成,王明国,耿荣,等.宁夏银北灌区盐碱地盐渍化特征分析[J].中国农学通报,2021,37(5):38-42.

[11] 吕真真,刘广明,杨劲松.新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究[J].土壤学报,2013,50(2):289-295.