

# 贡觉县阿旺乡河道沿岸土壤养分状况分析

拉姆罗珍<sup>1</sup>, 袁宏<sup>2\*</sup>, 洛桑塔青<sup>1</sup>, 王力<sup>2</sup>, 王丽坤<sup>2</sup>

(1. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队, 西藏 拉萨 851400; 2. 四川省核工业地质调查院, 四川 成都 610061)

**摘要:** 基于地统计学方法分析了贡觉县阿旺乡3条交汇河道沿岸土壤养分状况及空间分布特征, 采用主成分分析法(PCA), 利用土壤养分综合分值(IFI)对土壤肥力进行综合评价。结果表明: 研究区土壤呈酸性, 土壤有效磷、交换性钙、有效锌、Ca、Hg、有效铜表现为强变异性, 土壤CEC、有机质、N、P、速效钾、有效钙、有效铁、锌、锰、硼、钼含量较丰富, 大部分区域土壤IFI在三级及以上水平。总体而言, 研究区土壤肥力状况良好。

**关键词:** 土壤; 养分; 克里金; PCA; IFI

中图分类号: S151.9

文献标志码: A

## Analysis of Soil Nutrients along the River in Awang Township of Gongjue County

Lamuluozhen<sup>1</sup>, YUAN Hong<sup>2\*</sup>, Luosangtaqing<sup>1</sup>, WANG Li<sup>2</sup>, WANG Likun<sup>2</sup>

(1. Tibet Autonomous Region Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, No. 6 Geological Brigade, Tibet Lhasa 851400, China; 2. Sichuan Institute of Nuclear Industry Geological Survey, Sichuan Chengdu 610061, China)

**Abstract:** Based on geostatistics, the status and spatial distribution of soil nutrients along the confluence area of three rivers in Awang Township, Gongjue county were analyzed. The soil fertility was comprehensively evaluated by principal component analysis (PCA) and comprehensive score of soil nutrients (IFI). The results showed that the soil in the study area had acidic characteristics. Soil available phosphorus, exchangeable Ca, available Zn, Ca, Hg and available Cu showed strong variability. Soil CEC, organic matter N, P, available K, available Ca, available Fe, Mn, B and Mo are abundant, and the soil IFI in most areas is at Level 3 or above. Generally speaking, the soil fertility in the study area is good.

**Key Words:** soil; nutrient; Kriging; PCA; IFI

土壤养分是评价土壤肥力的重要标志, 它对农业可持续性影响最直接、深刻和长远。对土壤养分情况进行科学的空间综合分析有利于精细农业的进一步发展<sup>[1]</sup>。阿旺乡是贡觉县两个纯牧业乡之一, 据现有公开资料, 当地尚未开展土壤肥力相关研究工作。而阿旺乡作为西藏特色畜种——阿旺绵羊的重要产地, 草场的良好保护与健康发展具有重要意义。本研究通过对阿旺乡河道沿岸土壤采样调查, 研究了当地土壤的肥力状况, 分析了土壤肥力指标之间的相关关系, 以期当地土壤肥力改良和牧业的长远发展提供数据支撑。

收稿日期: 2022-04-15

**作者简介:** 拉姆罗珍(1994-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向为地质矿产, E-mail: lamuluozhen@163.com; \*为通讯作者: 袁宏(1986-), 男, 高级工程师, 主要从事资源环境评价与信息处理、地理信息系统、计算机应用技术研究, E-mail: yhyda@qq.com。

## 1 研究背景

贡觉县地处青藏高原东南部, 昌都地区东部, 唐古拉横断山脉北段, 金沙江上游西岸。阿旺乡位于贡觉县东南部的草原上, 平均海拔4 030 m。阿旺乡属大陆性高原季风气候, 夏季气候温和湿润, 冬季气候干冷, 平均气温为6.3℃, 日平均气温0℃以上245 d, 昼夜温差大于10℃, 平均日照数为2 100 h, 日照充足。阿旺乡属丘状高原地貌, 丘原地表平坦, 丘顶多浑圆, 河谷宽平, 有草地面积4.75万hm<sup>2</sup>, 畜牧产业发展良好, 是高原生态畜牧业的理想牧场。阿旺乡河谷宽平, 在乡政府驻地主要有3条河谷交汇, 河谷地区是当地主要的放牧区域。研究区如图1所示。

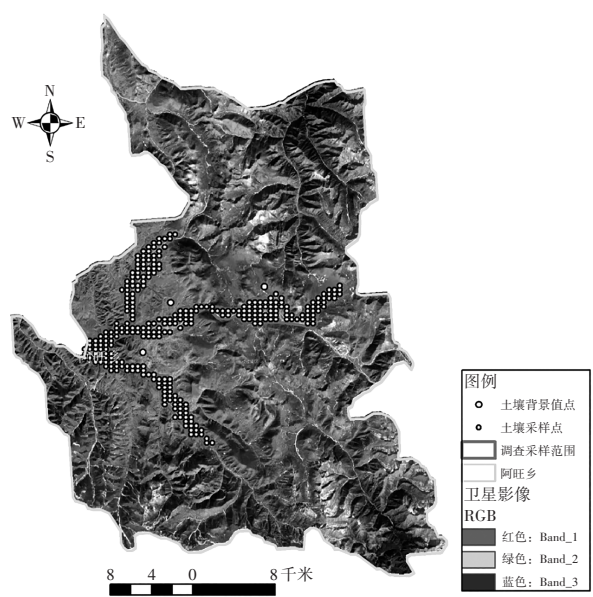


图1 研究区范围及采样点

2 研究方法

2.1 样品采集

依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)<sup>[2]</sup>的要求,土壤采样点根据网格法进行均匀布点,网格为500 m×500 m。土壤采样深度0~20 cm,采样时用GPS记录采样点坐标、现场填写采样记录表、拍照和编号。采样时首先将土壤表面覆盖的杂物清除,用木铲自上而下刮取土壤。样品按梅花法多点取样,混匀后用四分法除去多余土壤,用竹片装入塑封袋中,质量约1.5 kg。共采集土壤样品281件。

2.2 样品检测

样品检测由西南冶金地质测试所完成。土壤

肥力相关检测项目包括:pH值、CEC(阳离子交换量)、有机质、全氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾、铜、锌、铁、锰、硒、钼、钙、硼、有效锌、有效铁、有效锰、有效硒、有效钼、有效钙。检测方法完全依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)、《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618-2018)等规范要求进行。

2.3 数据处理

采用Excel、SPSS对数据进行常规统计,用主成分分析法(PCA),综合各肥力相关指标计算土壤养分综合分值(IFI)进行土壤肥力综合评价。主要包括3个步骤<sup>[3]</sup>:对所有肥力养分数据进行因子分析,得出土壤养分主成分特征值和特征向量;根据主成分累计贡献率,选择关键主成分,计算各主成分得分和贡献率;采用指数和法计算土壤养分综合分值(IFI),公式为:

$$IFI=\lambda_1F_1+\lambda_2F_2+\cdots+\lambda_nF_n \quad (1)$$

其中,F表示单个主成分得分,λ表示对应主成分的贡献率。

3 结果与分析

3.1 描述性统计

对土壤样品测试结果进行统计分析,结果如表1。从变异系数看,有效磷的变异性最大(2.897),与交换性钙、有效锌、Ca、Hg、有效铜均表现为强变异性,其余如K、pH、有效硒、Fe、Ni、Zn、B、CEC、P、Mn、Mo、Se、速效钾、N、Cu、有机质、交换性镁、有效锰、有效钼和有效铁均表现为中等变异性,无弱变异性。

表1 土壤样品测试结果描述性统计分析

项目	最小值	最大值	平均值	中位数	标准差	方差	变异系数
有机质	3 513.295	322 869.555	77 880.964	78 515.736	51 629.004	2 665 554 093.898	0.663
N	442.735	11 610.027	3 669.870	3 645.501	2 155.097	4 644 442.718	0.587
P	201.183	2 280.079	870.389	836.292	371.520	138 026.771	0.427
K	9 198.074	29 835.630	17 521.786	17 308.650	2 590.604	6 711 229.367	0.148
有效磷	0.208	263.631	7.277	2.733	20.952	438.984	2.879
速效钾	30.890	938.500	201.465	189.200	105.270	11 081.878	0.523
有效铜	0.045	16.984	1.165	0.569	2.141	4.582	1.837

续表

项目	最小值	最大值	平均值	中位数	标准差	方差	变异系数
有效锌	0.043	10.787	1.243	0.856	1.495	2.235	1.202
有效铁	1.738	508.646	138.356	98.994	130.062	16 916.142	0.940
有效锰	0.282	68.092	12.823	9.948	10.837	117.446	0.845
有效钼	0.016	1.607	0.159	0.135	0.138	0.019	0.867
有效硒	0.005	0.019	0.005	0.005	0.001	0.000	0.196
交换性钙	48.808	19 335.304	2 535.530	1 576.234	2 824.628	7 978 525.058	1.114
交换性镁	14.163	806.173	139.339	118.170	98.636	9 729.024	0.708
Se	0.044	0.855	0.141	0.125	0.072	0.005	0.514
B	21.060	179.320	73.476	71.790	20.700	428.477	0.282
Cu	7.033	213.853	26.322	23.100	16.344	267.118	0.621
Mo	0.275	4.775	0.914	0.853	0.444	0.197	0.486
Zn	33.903	208.827	86.111	83.760	24.080	579.865	0.280
Ca	1 572.327	67 824.471	6 118.189	3 945.111	7 611.591	57 936 310.552	1.244
Fe	16 360.076	66 097.783	34 017.763	34 175.002	7 442.839	55 395 847.975	0.219
Mn	104.554	3 991.636	774.924	793.061	374.351	140 138.799	0.483
CEC	3.765	46.456	19.224	19.627	8.086	65.389	0.421
pH	4.320	8.520	5.932	5.520	1.068	1.141	0.180

注:表中项目除pH无单位外,其余项目的最小值、最大值、平均值、中位数的单位均为mg·kg<sup>-1</sup>。

3.2 肥力状况分析

3.2.1 酸碱度

从表1可知,研究区土壤pH范围为4.32~8.52,平均值为5.93。根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)中对土壤酸碱度的分级

标准,土壤pH≥8.5为强碱性、7.5~8.5为碱性、6.5~7.5为中性、5.0~6.5为酸性、<5.0为强酸性。研究区土壤pH分级情况如图2所示。从图中可看出,研究区土壤呈酸性。

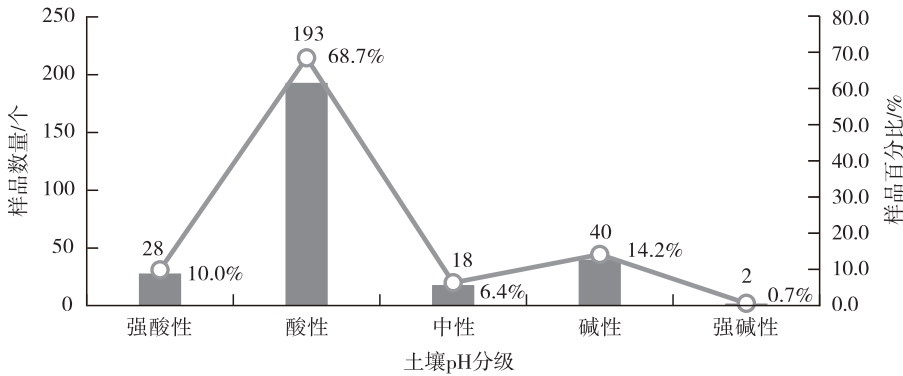


图2 土壤pH分级情况

3.2.2 养分

据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)、全国第二次土壤普查等标准<sup>[1]</sup>,研究区土壤CEC、有机质、N、P、速效磷、K、速效钾、有效钙、有效镁、有效铁、Zn、有效锌、Mn、有效锰、Cu、有效铜、B、Mo和有效钼的分级情况如图3所示。

从图3可以看出,研究区土壤CEC、有机质、N、

P、速效钾、有效钙、有效铁、锌、锰、硼、钼的总体水平较为丰富,K、有效镁、有效锌、有效锰、铜、有效铜、有效钼的总体水平中等,只有速效磷的总体水平较缺乏。

硒(Se)是人体必需的微量元素之一,对人体健康有着极其重要的作用。根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)中对土壤硒等级划分

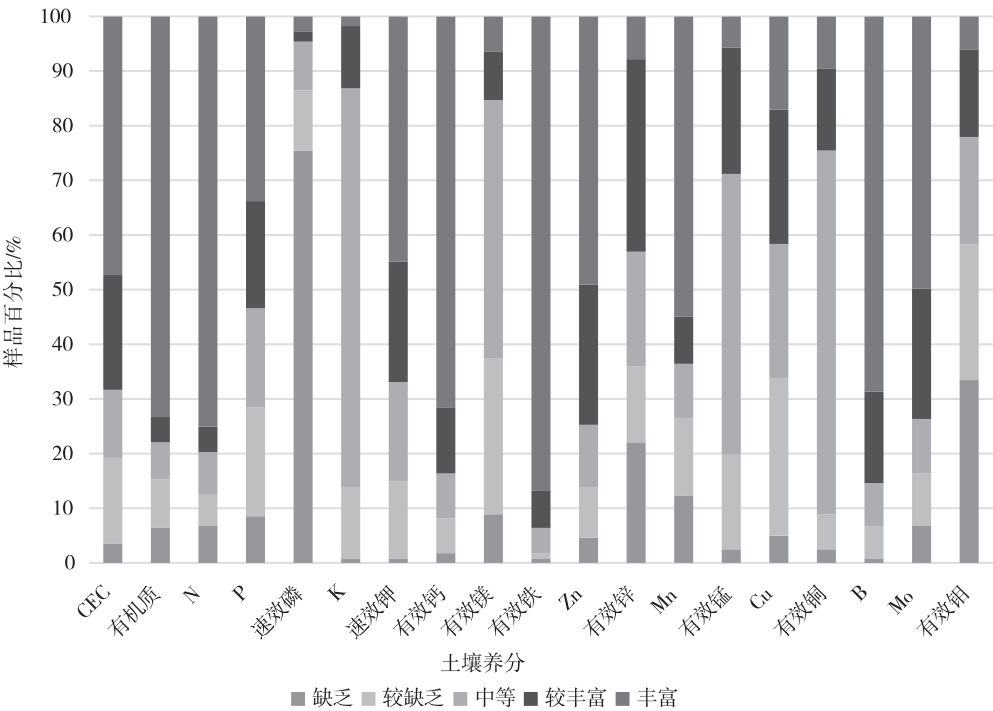


图3 研究区土壤肥力指标分级情况

标准,硒含量>3 mg/kg 为过剩、0.4~3.0 mg/kg 为高、0.175~0.400 mg/kg 为适量、0.125~0.175 mg/kg 为边缘、≤0.125 mg/kg 为缺乏<sup>[1]</sup>。研究区土壤硒含量情况如图4所示。

从图4可看出,80%以上的土壤样品硒含量均处于边缘及以下水平,可见研究区土壤硒含量水平较低。

3.3 土壤肥力评价

3.3.1 主成分分析(PCA)<sup>[4]</sup>

采用SPSS软件,基于主成分方法,采用Kaiser标准化的正交旋转法提取出7个因子,如表2所示。

从表2可知,提取的7个因子特征值分别为

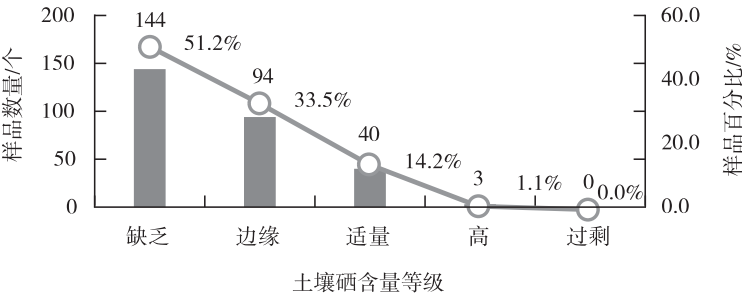


图4 研究区土壤硒含量情况

6.290、3.164、2.566、2.274、1.871、1.252、1.170,均大于1。因子累积方差贡献率达到77.444%。对选取的7个主成分进行载荷值旋转计算,得出成分得分系数矩阵,如表3所示。



表2 研究区土壤养分因子分析的旋转成分矩阵

项目	因子							变量共同度
	1	2	3	4	5	6	7	
有机质	0.910	-0.082	-0.206	0.069	0.216	0.104	-0.038	0.940
N	0.919	-0.074	-0.162	0.085	0.216	0.102	-0.025	0.941
P	0.846	-0.052	0.145	0.133	0.110	0.232	0.002	0.824
K	-0.213	0.050	0.386	0.027	0.042	0.274	0.530	0.555
有效磷	0.274	0.290	0.037	0.410	-0.545	0.135	0.089	0.651
速效钾	0.671	0.203	0.038	0.306	-0.353	0.266	0.142	0.802
有效铜	-0.059	0.705	-0.041	-0.511	-0.125	0.064	-0.259	0.850
有效锌	0.472	0.495	-0.051	0.276	-0.437	-0.213	-0.049	0.785
有效铁	0.696	0.035	-0.471	0.027	0.066	-0.058	0.059	0.719
有效锰	0.220	0.352	0.039	0.306	-0.358	-0.254	-0.353	0.585
有效钼	0.526	0.175	0.168	-0.390	-0.074	-0.531	0.410	0.943
有效硒	0.177	0.045	-0.335	-0.087	0.321	-0.065	-0.238	0.317
交换性钙	-0.344	0.617	0.015	0.442	0.483	-0.041	0.131	0.947
交换性镁	0.250	0.620	-0.154	0.357	0.060	0.003	0.105	0.612
Se	0.355	0.363	-0.327	-0.369	0.376	-0.093	-0.115	0.665
B	0.039	0.389	0.023	-0.413	-0.115	0.577	0.212	0.715
Cu	-0.053	0.684	0.076	-0.577	-0.008	0.237	-0.168	0.894
Mo	0.572	0.132	0.330	-0.400	0.011	-0.405	0.371	0.916
Zn	0.340	0.257	0.689	-0.075	0.022	-0.058	-0.217	0.713
Ca	-0.339	0.467	0.137	0.429	0.524	-0.066	0.158	0.839
Fe	0.336	-0.177	0.768	-0.036	0.244	0.128	-0.161	0.838
Mn	0.126	0.006	0.788	0.189	0.117	-0.062	-0.292	0.776
CEC	0.860	-0.033	-0.044	0.116	0.365	0.120	-0.012	0.904
pH	-0.726	0.522	-0.053	0.168	0.143	-0.066	0.030	0.856
特征值	6.290	3.164	2.566	2.274	1.871	1.252	1.170	
解释总方差/%	26.209	13.185	10.691	9.474	7.794	5.218	4.873	
累积解释总方差/%	26.209	39.394	50.085	59.559	67.353	72.571	77.444	

表3 成分得分系数矩阵

项目	成分						
	1	2	3	4	5	6	7
有机质	0.145	-0.026	-0.080	0.030	0.115	0.083	-0.032
N	0.146	-0.024	-0.063	0.038	0.116	0.082	-0.021
P	0.135	-0.017	0.057	0.059	0.059	0.186	0.002
K	-0.034	0.016	0.150	0.012	0.023	0.219	0.453
有效磷	0.043	0.092	0.014	0.180	-0.291	0.108	0.076

续表

项目	成分						
	1	2	3	4	5	6	7
速效钾	0.107	0.064	0.015	0.134	-0.189	0.213	0.121
有效铜	-0.009	0.223	-0.016	-0.225	-0.067	0.051	-0.221
有效锌	0.075	0.156	-0.020	0.121	-0.234	-0.170	-0.042
有效铁	0.111	0.011	-0.183	0.012	0.035	-0.046	0.051
有效锰	0.035	0.111	0.015	0.135	-0.192	-0.203	-0.302
有效钼	0.084	0.055	0.065	-0.172	-0.039	-0.424	0.351
有效硒	0.028	0.014	-0.131	-0.038	0.172	-0.052	-0.203
交换性钙	-0.055	0.195	0.006	0.194	0.258	-0.033	0.112
交换性镁	0.040	0.196	-0.060	0.157	0.032	0.002	0.090
Se	0.056	0.115	-0.127	-0.162	0.201	-0.074	-0.098
B	0.006	0.123	0.009	-0.181	-0.061	0.461	0.181
Cu	-0.008	0.216	0.030	-0.254	-0.004	0.189	-0.144
Mo	0.091	0.042	0.129	-0.176	0.006	-0.323	0.318
Zn	0.054	0.081	0.269	-0.033	0.012	-0.046	-0.185
Ca	-0.054	0.147	0.053	0.189	0.280	-0.053	0.135
Fe	0.053	-0.056	0.300	-0.016	0.131	0.102	-0.137
Mn	0.020	0.002	0.307	0.083	0.063	-0.049	-0.250
CEC	0.137	-0.010	-0.017	0.051	0.195	0.096	-0.011
pH	-0.115	0.165	-0.021	0.074	0.077	-0.052	0.026

从表3可得到单个主成分综合得分线性方程。如第一个主成分综合得分线性方程为：

$$F_1=0.145X_1+0.146X_2+0.135X_3-0.034X_4+0.043X_5+0.107X_6-0.009X_7+0.075X_8+0.111X_9+0.035X_{10}+0.084X_{11}+0.028X_{12}-0.055X_{13}+0.040X_{14}+0.056X_{15}+0.006X_{16}-0.008X_{17}+0.091X_{18}+0.054X_{19}-0.054X_{20}+0.053X_{21}+0.020X_{22}+0.137X_{23}-0.115X_{24}(2)$$

式中， $X_1$ 为有机质、 $X_2$ 为N、 $X_3$ 为P、 $X_4$ 为K、 $X_5$ 为有效磷、 $X_6$ 为速效钾、 $X_7$ 为有效铜、 $X_8$ 为有效锌、 $X_9$ 为有效铁、 $X_{10}$ 为有效锰、 $X_{11}$ 为有效钼、 $X_{12}$ 为有效硒、 $X_{13}$ 为交换性钙、 $X_{14}$ 为交换性镁、 $X_{15}$ 为Se、 $X_{16}$ 为B、 $X_{17}$ 为Cu、 $X_{18}$ 为Mo、 $X_{19}$ 为Zn、 $X_{20}$ 为Ca、 $X_{21}$ 为Fe、 $X_{22}$ 为Mn、 $X_{23}$ 为CEC、 $X_{24}$ 为pH。

根据式(1)计算每个样品的综合分值，公式为：

$$IFI=0.262F_1+0.132F_2+0.107F_3+0.095F_4+0.078F_5+0.052F_6+0.049F_7(3)$$

计算结果表明，研究区土壤养分综合分值（IFI）最大值为15 392.87，最小值为2 036.90，平均

值为6 298.24，标准差为2 225.84，变异系数为0.35，属于中等变异性。

3.3.2 土壤IFI空间分析

利用ArcGIS软件采用克里金插值<sup>[5]</sup>方法对研究区土壤IFI进行空间插值，以百分位（表4所示）进行土壤IFI分级，分为5个等级，其中0%~25%为一级、25%~50%为二级、50%~75%为三级、75%~90%为四级、90%~100%为五级，分析结果如图5所示。

表4 IFI百分位数

百分位	数值
5	2 921.80
10	3 202.60
25	4 728.69
50	6 290.04
75	7 570.39
90	8 953.71
95	9 853.35

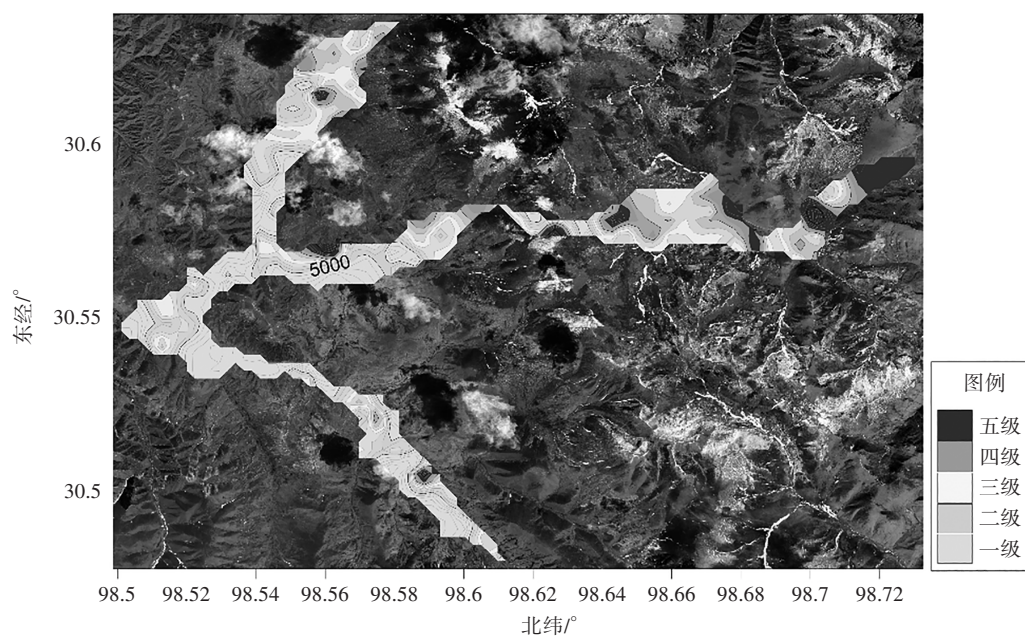


图5 土壤IFI空间分布情况

从图5可见,研究区土壤IFI高值区主要位于东侧和北侧,而低值区主要位于研究区西侧。研究区大部分区域土壤IFI为三级及以上水平,说明研究区土壤肥力总体良好。

## 4 讨论

阿旺乡是青藏高原特色畜种阿旺绵羊的重要自然放牧区。从变异系数看,研究区有效磷、交换性钙、有效锌、Ca、Hg、有效铜均表现为强变异性,K、pH、有效硒、Fe、Ni、Zn、B、CEC、P、Mn、Mo、Se、速效钾、N、Cu、有机质、交换性镁、有效锰、有效钼、有效铁均表现为中等变异性,无弱变异性。说明研究区土壤养分元素在空间上分布较不均匀,可能受放牧影响较大。

另外,研究区土壤IFI空间分析显示,IFI高值区主要位于远离乡镇的东侧和北侧,而低值区主要集中于西侧的阿旺乡乡镇区域周边。也说明人类活动对土壤肥力造成了影响。

## 5 结语

本研究采用数据统计、Kriging插值分析了贡觉县阿旺乡3条交汇河道沿岸土壤肥力状况及空间分布特征,并采用主成分分析法(PCA),综合各肥力相关指标计算土壤养分综合分值(IFI),进行了

土壤肥力综合评价,得出以下结论。

研究区土壤养分各指标空间分布不均匀,有效磷、交换性钙、有效锌、Ca、Hg、有效铜均表现为强变异性,K、pH、有效硒、Fe、Ni、Zn、B、CEC、P、Mn、Mo、Se、速效钾、N、Cu、有机质、交换性镁、有效锰、有效钼、有效铁表现为中等变异性,无弱变异性。

PCA分析显示,研究区土壤养分综合分值(IFI)变幅为2 036.90~15 392.87,平均值为6 298.24,变异系数为0.35,属于中等变异性。

土壤IFI空间分析显示,大部分区域土壤IFI为三级及以上水平,说明研究区土壤肥力总体良好。

从土壤IFI高值区和低值区的差异看,研究区土壤肥力受放牧和人为活动影响较大,建议加强放牧管理,实行划区轮牧,提高草场的自然恢复能力。

### 参考文献:

- [1] 黄安,杨联安,杜挺,等.基于主成分分析的土壤养分综合评价[J].干旱区研究,2014(5):819-825.
- [2] 中华人民共和国国土资源部.土地质量地球化学评价规范:DZ/T 0295-2016[S].北京:地质出版社,2016.
- [3] 黄安,杨联安,杜挺,等.基于主成分分析的土壤养分综合评价[J].干旱区研究,2014,31(5):819-825.
- [4] 袁宏,钟红梅,赵利,等.基于PCA/APCS受体模型的崇州市典型农田土壤重金属污染源解析[J].四川环境,2019,38(6):35-43.
- [5] 袁宏,赵利,王茂丽,等.西藏拉萨达孜区沿拉萨河两侧农用地土壤重金属空间分布与土壤环境质量评价[J].安徽农业科学,2018,46(28):117-120,126.