

杨娟,张亚平,郝志成. 新疆泥火山不同生境土壤微生物数量、酶活性与理化因子的关系[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):537-541.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.152

# 新疆泥火山不同生境土壤微生物数量、酶活性与理化因子的关系

杨娟,张亚平,郝志成

(石河子大学生命科学学院,新疆石河子 832003)

**摘要:**为了揭示新疆泥火山不同生境土壤微生物数量与土壤酶活性、理化因子之间的关系,以新疆泥火山区域山地荒漠带、草原带、泥火山口、灌木带 4 种不同生境为研究对象,用稀释平板法对该区域的细菌、放线菌、真菌进行分离计数,研究土壤的微生物数量、酶活、理化性质,并对其进行方差分析、简单相关分析和主成分分析。结果表明:泥火山不同生境土壤微生物数量具有显著差异,且细菌数量 > 放线菌数量 > 真菌数量;土壤微生物数量在不同生境表现为:草原带 > 山地荒漠带 > 灌木带 > 泥火山口;真菌数量与土壤含水量、有机质含量、全氮含量呈极显著正相关,细菌、放线菌数量与有机质含量、全氮含量呈显著正相关;土壤细菌、放线菌数量与土壤转化酶活性呈显著或极显著正相关,与磷酸酶活性呈显著负相关;主成分分析结果显示,有机质含量、全氮含量、全磷含量、含水量、磷酸酶活性、转化酶活性等可以作为影响该区域土壤养分组成的重要因子。由结果可知,新疆泥火山不同生境土壤微生物数量分布均存在显著差异,并与土壤环境因子呈正相关或负相关,可以较好地反映泥火山区域土壤养分的组成情况。

**关键词:**新疆;泥火山;不同生境;土壤微生物数量;土壤酶活性;理化因子;相关关系

**中图分类号:** Q938;S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0537-05

泥火山与真正意义上的火山不同的是,它们是由泥浆形成的,不具有火山的岩浆通道,名称中之所以有泥,是因为其组成成分主要是黏土、岩屑、盐粉等,并且其外形很像一个火山,具有喷发口,有时还会有喷发冒火现象。由于泥火山的喷发形式和喷发后形成的堆积物在外形上与火山有些相似,因而称其为泥火山<sup>[1]</sup>。新疆乌苏具有亚洲最大的泥火山群,位于天山北坡丘陵地带、乌苏市南约 42 km 的山区。据地质专家介绍,泥火山是地质断裂活动形成的罕见自然景观,除新疆外,目前仅在美国、墨西哥、新西兰等少数国家以及我国台湾高雄地区发现,但是规模、数量都比不上新疆乌苏泥火山群。乌苏泥火山群形态较全,具有重要的科学价值,是研究地形、地层变化的活教材<sup>[2]</sup>,其特殊的环境是研究极端微生物的最佳场所,并且周围具有丰富的矿产和石油资源,可以为今后油气资源的开发和利用提供研究基础<sup>[3]</sup>。

土壤微生物是生态系统中重要的角色扮演者,在生态系统中发挥着不可或缺的作用,其微生物本身的代谢对土壤的结构、营养物质转化可以产生一定的影响。因此,土壤微生物作为土壤质量变化的最敏感指标之一,在土壤质量评价中越来越受到重视<sup>[4]</sup>。土壤酶作为土壤肥力的指标,具有重要的作用<sup>[5]</sup>,土壤酶活性的大小可以直接反映土壤中物质转化状况、肥力水平<sup>[6]</sup>。本研究以植被退化迁移、微生物演替变化、

生物化学风化、土壤转化过程所造成的独特环境为背景,研究泥火山不同生境土壤微生物与土壤酶活性、理化因子的相互关系,以期为持续利用和合理开发新疆天山北坡天然牧场提供有利证据,同时有助于改善土壤养分、保持生态平衡,为揭示泥火山不同生境的生态系统结构提供研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

乌苏泥火山群位于新疆天山北麓乌苏市南约 40 km、白杨沟镇东南约 2 500 m 处,属天山北坡山前丘陵地带,地理坐标为 44°10'06"N、84°23'20"E,海拔为 1 275 m 左右,星散分布在长约 200 m、宽约 100 m 的范围内<sup>[7]</sup>。本研究以新疆天山北坡不同生境土壤为研究对象,采集灌木带(海拔 1 100 ~ 1 300 m)、泥火山口泥浆沉积物光地(海拔 1 150 ~ 1 280 m)、草原带(海拔 900 ~ 1 000 m)、山地荒漠带(海拔 600 ~ 800 m)原位条件下的土壤。具体采样地情况见表 1。

表 1 泥火山不同生境样地基本情况

生境类型	经度	纬度	海拔(m)	主要植被
灌木带	84°40'20"E	44°18'00"N	1 300	少量灌木植物
泥火山口	84°23'00"E	44°11'00"N	1 275	少量草本植物
草原带	84°22'10"E	44°13'00"N	1 100	草本植物
山地荒漠带	84°29'20"E	44°17'00"N	762	少量骆驼刺、棉花

### 1.2 土样采集

采样时间为 2014 年 9 月,以机械抽样的方法在样地内设置样方,草本采用 1 m × 1 m 样方,5 次重复;灌木采用 5 m × 5 m 样方,3 次重复。在每个样方内分层采集 0 ~ 20 cm 土壤,装入无菌袋中,放到冰袋盒内保鲜,尽快带回实验室,去除土

收稿日期:2015-06-19

基金项目:国家自然科学基金(编号:30860001)。

作者简介:杨娟(1990—),女,新疆博乐人,硕士研究生,研究方向为环境生物技术。E-mail: endless0715@ sina. com。

通信作者:张亚平,博士,教授,主要从事功能微生物研究。E-mail: zyp@ shzu. edu. cn。

样里的植物根系、砾石。将土样分成 3 份:1 份放入 4 ℃ 冰箱,用于微生物计数研究;1 份在室内风干,将风干土分别过 1.00/0.15 mm 筛,用于土壤理化性质、酶活性研究;1 份放入 -20 ℃ 冰箱,用于后续分子生物学方面的研究。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤微生物测定 土壤微生物数量使用稀释平板法测定<sup>[8-9]</sup>,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,于 37 ℃ 倒置培养 48 h 左右;放线菌采用高氏 1 号培养基,于 28 ℃ 倒置培养 7 d 左右;真菌采用马丁氏-孟加拉红培养基,于 33 ℃ 倒置培养 3~5 d。菌数(CFU/g)计算公式:

菌数 = (菌落平均数 × 稀释倍数) / 干土质量。

1.3.2 土壤理化性质的测定 土壤含水量采用烘干法测定;pH 值、电导率的测定采用 pH 电导率仪;根据水土体积比 2.5 : 1、5 : 1 进行测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定;土壤全磷含量采用 HClO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 法测定;速效磷含量采用 NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法测定;土壤全氮

含量采用半微量凯氏法测定<sup>[10]</sup>。  
1.3.3 土壤酶活的测定 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;转化酶活性用茚三酮比色法测定;脲酶活性用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定;磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法<sup>[11]</sup>测定。  
1.3.4 数据处理 采用 Excel 2003 进行数据初步处理,用 SPSS 17.0 统计软件进行数据的方差分析、相关性分析、主成分分析<sup>[12]</sup>。

2 结果与分析

2.1 泥火山不同生境土壤微生物组成

由表 2 可知,不同生境土壤微生物存在显著差异( $P < 0.05$ );4 种生境土壤中细菌数量最多,其次是放线菌,真菌数量最少;细菌、放线菌、真菌在 4 种生境中共同的分布特征为草原带 > 山地荒漠带 > 灌木带 > 泥火山口。

表 2 不同生境土壤微生物 3 大类群组成 ( $n=3$ )

生境类型	土壤微生物数量 (×10 <sup>4</sup> CFU/g)			总数
	细菌	放线菌	真菌	
灌木带	21.67 ± 1.20a	11.67 ± 0.88a	0.08 ± 0.01a	33.42 ± 2.09a
泥火山口	13.67 ± 0.88a	7.00 ± 0.57a	0.02 ± 0.01a	20.69 ± 1.46a
草原带	57.33 ± 4.09b	36.67 ± 2.72c	3.00 ± 0.58b	97.00 ± 7.39b
山地荒漠带	50.33 ± 2.40b	29.33 ± 0.88b	0.20 ± 0.06a	79.86 ± 3.34a

注:数据为“平均值 ± 标准差”。同列数据后标有不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 3 同。

2.2 泥火山不同生境类型的土壤理化性质

由表 3 可以看出:不同生境土壤理化性质存在显著差异( $P < 0.05$ );山地荒漠带土壤 pH 值相对其他 3 种生境较高,并与这 3 种生境具有显著性差异;草原带的含水量最高,均值达到 22.03%,其次是泥火山口,灌木带、山地荒漠带最低,并且彼此之间没有显著性差异;泥火山口的电导率最高(4.50 dS/m),最低的是灌木带(0.12 dS/m);草原带的有机

质含量最高,均值达到了 163.91 g/kg,其次是灌木带,并且灌木带与泥火山口之间没有显著性差异,与草原带、山地荒漠带之间具有显著性差异;全氮含量最高的是草原带,灌木带次之,泥火山口、山地荒漠带最低;4 种生境的全磷含量相差不大,并且灌木带、草原带、山地荒漠带之间没有显著性差异;泥火山口有效磷含量最高(13.47 mg/g),山地荒漠带次之,最低的是灌木带、草原带。

表 3 泥火山不同生境类型土壤理化因子的方差分析结果 (0~20 cm)

生境类型	pH 值	含水量 (%)	电导率 (dS/m)	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)
灌木带	7.80 ± 0.20b	2.72 ± 0.29a	0.12 ± 0.01a	38.36 ± 1.15b	1.92 ± 0.06b	0.35 ± 0.03a	4.12 ± 0.62a
泥火山口	7.91 ± 0.06b	15.22 ± 0.72b	4.50 ± 0.68b	14.85 ± 3.00ab	0.74 ± 0.15ab	0.43 ± 0.01b	13.47 ± 1.25b
草原带	7.41 ± 0.06a	22.03 ± 2.18c	1.08 ± 0.14a	163.91 ± 14.04c	8.20 ± 0.70c	0.33 ± 0.03a	4.78 ± 0.48a
山地荒漠带	8.38 ± 0.07c	2.82 ± 0.15a	1.23 ± 0.27a	11.47 ± 2.19a	0.57 ± 0.11a	0.33 ± 0.01a	11.75 ± 0.72b

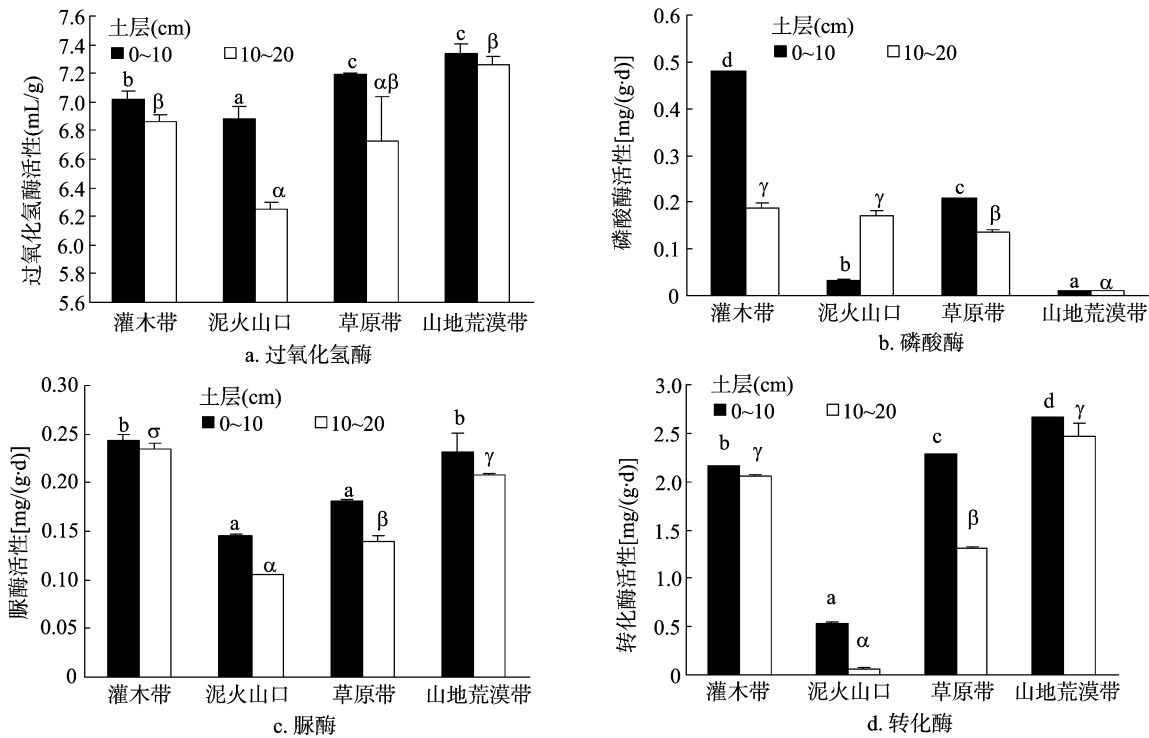
2.3 泥火山不同生境土壤的酶活性

由图 1 可以看出:土壤过氧化氢酶、转化酶、脲酶、磷酸酶在不同生境之间存在显著差异( $P < 0.05$ );除了泥火山口的磷酸酶活性,大体趋势是不同生境类型表层土壤(0~10 cm)酶活性均高于下层土壤(10~20 cm)。土壤过氧化氢酶活性在山地荒漠带最高,在表层土壤中,除了草原带,均与其他 2 种生境类型有显著差异( $P < 0.05$ ),在 10~20 cm 土层与草原带具有显著性差异( $P < 0.05$ )。磷酸酶活性以灌木带较高,0~10、10~20 cm 土层分别为 0.479 7、0.187 7 mg/(g·d),并且在表层土壤中,与其他 3 种生境类型均差异显著( $P < 0.05$ ),下层土壤中除了泥火山口,与其他 2 种生境类型差异显著( $P < 0.05$ )。土壤脲酶活性以灌木带和山地荒漠带较

高,在 0~10 cm 土层中,除了山地荒漠带,灌木带与其他 2 种生境类型均差异显著( $P < 0.05$ );在 10~20 cm 土层中,4 种生境类型均差异显著( $P < 0.05$ )。转化酶活性在山地荒漠带较高,在 0~10 cm 土层中,4 种生境类型均差异显著( $P < 0.05$ );在 10~20 cm 土层中,山地荒漠带转化酶活性与灌木带、草原带泥火山口差异显著( $P < 0.05$ )。

2.4 土壤微生物数量与土壤理化因子的相关性分析

从表 4 可以看出:土壤有机质含量、全氮含量与土壤微生物有密切的关系,并且与真菌数量呈极显著正相关,相关系数达到 0.954;土壤含水量与真菌数量呈极显著正相关,相关系数为 0.767;而 pH 值与真菌数量呈显著负相关,相关系数为 -0.608;土壤全磷含量与细菌数量呈显著负相关,相关系数



不同小写英文、希腊字母分别表示土壤酶活性在0~10、10~20 cm土层不同生境间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图1 不同生境类型的土壤酶活性

表 4 土壤微生物数量与土壤理化性质的相关性分析

指标	pH 值	含水量	电导率	有机质含量	全氮含量	全磷含量	有效磷含量
细菌	-0.100	0.205	-0.454	0.605 *	0.603 *	-0.612 *	-0.236
放线菌	-0.137	0.277	-0.426	0.668 *	0.666 *	-0.565	-0.280
真菌	-0.608 *	0.767 **	-0.243	0.954 **	0.954 **	-0.462	-0.488

注：“\*”表示显著相关 ( $P < 0.05$ , 双尾检验); “\*\*”表示极显著相关 ( $P < 0.01$ , 双尾检验)。表 5、表 6 同。

为 -0.612。真菌在泥火山土壤 3 大类微生物数量组成中所占比例最小,其数量能够随着土壤理化因子的改变而发生明显变化。

2.5 土壤微生物数量与土壤酶活性的相关性分析

土壤酶是各种生化反应中的催化剂,是反映土壤综合肥力、养分转化的指标。通过对土壤微生物数量、酶活性相关性分析发现,大部分土壤酶活性与微生物数量之间呈正相关,其中转化酶活性与细菌数量之间呈极显著正相关,相关系数为 0.736,而与放线菌也具有显著关系,相关系数达到 0.731;磷酸酶活性与细菌、放线菌之间呈负相关,相关系数分别为 -0.663、-0.654(表 5)。

表 5 土壤酶活与微生物数量之间的相关性分析

指标	细菌数量	放线菌数量	真菌数量
过氧化氢酶活性	0.531	0.445	-0.111
脲酶活性	0.289	0.246	-0.094
转化酶活性	0.736 **	0.731 *	0.296
磷酸酶活性	-0.663 *	-0.654 *	-0.230

2.6 土壤理化因子与土壤酶活性的相关性分析

由表 6 可知:电导率与脲酶、转化酶活性呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.874、-0.871;含水量与脲酶活性有显著关系,相关系数为 -0.679;全磷含量与转化酶活性呈极

显著负相关,相关系数为 -0.743,与脲酶活性有显著关系,相关系数为 -0.638。

2.7 主成分分析

近年来,统计学方法中的变量分析方法在一些领域的应用越来越多,它将大量土壤性质指标集成综合指标、函数关系式或图示来评定土壤质量状况<sup>[13-14]</sup>。目前主成分分析法在土壤质量评价中应用较广泛<sup>[15]</sup>,一般认为主成分分析可以弱化变量间的自相关性所引起的误差,形成互不相关主成分,获得各主成分得分,同时通过计算得到综合评价得分,从而达到对土壤质量的精确评价<sup>[16]</sup>。本研究对土壤微生物组成、土壤理化因子和酶活性进行主成分分析,进一步研究土壤因素变化之间的主要控制因素,详见表 7。

主成分分析得到 3 个主成分,它们的特征值均大于 1,累积贡献率达到 91.434%,能较好地反映乌苏泥火山不同生境土壤的营养成分状况和肥力条件,并且较好地解释了土壤因素综合作用与控制因素之间的关系。第 1 主成分的贡献率达到 44.073%,决定第 1 主成分的主要是有机质含量(0.853)、全氮含量(0.851)、全磷含量(-0.727)、转化酶活性(0.745)、细菌数量(0.850)、放线菌数量(0.868)、真菌数量(0.842)7 个因素。可以看出,第 1 主成分主要是由有机质含量、全氮含量、全磷含量、转化酶活性、细菌数量、真菌数量、放

表 6 土壤酶活性与土壤理化性质的相关性分析结果

指标	pH 值	含水量	电导率	有机质含量	全氮含量	全磷含量	有效磷含量
过氧化氢酶活性	0.338	-0.417	-0.328	-0.126	-0.126	-0.447	0.250
脲酶活性	0.184	-0.679 *	-0.874 **	-0.056	-0.061	-0.638 *	-0.517
转化酶活性	0.050	-0.355	-0.871 **	0.317	0.311	-0.743 **	-0.525
磷酸酶活性	-0.430	-0.157	-0.146	-0.065	-0.065	0.167	-0.479

表 7 土壤因素主成分分析结果

土壤因素	主成分量		
	1	2	3
pH 值	-0.465	-0.659	0.391
含水量	0.336	0.897	0.245
电导率	-0.660	0.551	0.444
有机质含量	0.853	0.509	-0.042
全氮含量	0.851	0.513	-0.040
全磷含量	-0.727	0.420	0.072
有效磷含量	-0.644	-0.056	0.695
过氧化氢酶活性	0.245	-0.668	0.458
脲酶活性	0.391	-0.787	-0.444
转化酶活性	0.745	-0.637	-0.085
磷酸酶活性	-0.240	0.181	-0.931
细菌数量	0.850	-0.196	0.456
放线菌数量	0.868	-0.115	0.441
真菌数量	0.842	0.485	0.112
累积贡献率(%)	44.073	72.891	91.434

线菌数量决定其大小,所以可以将第 1 主成分定义为微生物数量主成分。第 2 主成分贡献率为 28.818%,决定其主成分的因子主要有含水量(0.897)、脲酶活性(-0.787),可见土壤含水量是影响第 2 主成分的主要因子,所以将第 2 主成分定义为土壤理化主成分。第 3 主成分贡献率达到 18.543%,只有磷酸酶活性(-0.931)与其呈极显著相关,可以将其定义为酶活性主成分。通过以上主成分分析表明,土壤理化性质、土壤微生物数量和土壤酶活性可以较好地反映新疆乌苏泥火山不同生境土壤条件状况,尤其是有机质含量、全氮含量、全磷含量、含水量、磷酸酶活性、转化酶活性等可以作为影响该区域土壤养分组成的重要因子。

3 结论与讨论

3.1 新疆泥火山不同生境土壤微生物数量的分布特征

土壤微生物数量可以作为表征土壤肥力状况的重要生物学指标<sup>[17]</sup>。泥火山区土壤微生物数量与其地理环境、生境类型、土壤理化性质等因素有关。泥火山区土壤中土壤微生物三大类群数量的关系是:细菌>放线菌>真菌,与大多数土壤中三大类群微生物数量分布特征相同。不同生境土壤微生物数量存在一定差异,其中草原带、山地荒漠带微生物数量较高,是灌木带、泥火山口数量的近 3 倍,反映草原带、山地荒漠带土壤微生物活跃,而灌木带、泥火山口土壤微生物活动较弱。这一方面可能是由于草原带、山地荒漠带植被相对较多,表层土壤较为肥沃,植被通过影响土壤环境从而影响土壤微生物群落结构、多样性。研究表明,受植被影响的土壤环境中土壤微生物的群落结构多样性比不受植被影响或没有植被的土壤环境中微生物群落结构多样性要高很多<sup>[18]</sup>。另一方面,由于其海拔较低,周围邻近耕地、人类活动比较频繁,所以与人类

对区域的干预、利用情况有关。

3.2 新疆泥火山不同生境土壤理化因子和酶活性的分布特征

研究表明,草原带的含水量、有机质和全氮含量高于泥火山口、山地荒漠带、灌木带,分析其原因,可能因为草原带的植被比较多,由于植被的影响能够使土壤养分、水分涵养功能提高<sup>[19]</sup>,自然土壤的有机质主要来源于高等植物残体,但是因为植被类型不同,植物残体的数量、成分差异很大,草原土壤的一些草、植物根系给土壤累积了有机质,这就是土壤腐殖质积累过程。土壤全氮变化趋势与有机质的变化规律表现一致,主要是由于土壤氮多数来自有机质的分解,土壤全氮含量的变化与有机质含量的变化呈正相关。许多学者的研究也证实了这种关系,王海燕等研究表明,原始林、天然次生林中有有机质含量与土壤全氮含量的正相关性均达到极显著或显著水平<sup>[20]</sup>。张庆费等研究表明,土壤全氮与土壤有机质演替过程的增长趋势相似,土壤全氮含量与有机质含量呈显著相关( $r=0.95$ )<sup>[21]</sup>。魏孝荣等研究表明,黄土高原土壤全氮与有机质含量之间存在密切的正相关关系( $r=0.970, n=141, P<0.01$ )<sup>[22]</sup>。本研究中泥火山区域土壤全氮含量也表现出与有机质含量相似的变化规律,而草原带的有效磷含量却低于其他 3 种生境,这可能是由于在草原带长期放牧影响下,家畜的频繁采食使磷从系统中输出增加,从而使土壤中速效磷含量下降<sup>[23]</sup>。而在土壤酶活性研究中,土壤过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶、转化酶活性在这 4 种生境中均有差异,除了磷酸酶在泥火山口的变化规律外,土壤酶活性大体上随土层的增加呈递减趋势,这与侯彦会等研究结果<sup>[24]</sup>一致,主要原因在于土壤表层累积了较多的枯枝落叶、腐殖质,有机质含量高,有充分的营养源以利于土壤微生物的生长,再加上水热条件和通气状况,微生物生长旺盛,代谢活跃,呼吸强度加大而使表层积聚了较高的土壤酶活性。

3.3 土壤微生物数量、土壤理化因子、土壤酶活性的相关性分析

相关分析结果表明,土壤酶活性与土壤养分、土壤含水量、土壤电导率、微生物数量具有不同程度的相关性,分析原因,可能是因为在土壤酶的作用下,土壤有机物质、有机残体分解成不同的中间产物、最终产物,为微生物、植物提供了营养物质和能量,同时有机物质也在调节土壤酶活性上起重要作用,因为它们能诱导生成胞外酶,起到激活剂的作用。土壤酶、微生物在土壤有机物质转化过程中的作用彼此之间并不是孤立的,而是存在着相互制约、互相促进的复杂关系<sup>[25]</sup>。其中细菌、放线菌数量与有机质、全氮含量呈显著正相关,真菌数量与土壤有机质含量、全氮含量、含水量呈极显著正相关,表明该区域土壤有机质、全氮含量是影响微生物数量的关键因素。另外,土壤真菌数量还与土壤含水量相关,说明其分布与该区域水热条件有一定的联系<sup>[26]</sup>。泥火山土壤磷酸酶、

脲酶、转化酶、过氧化氢酶活性与土壤微生物数量密切相关。磷酸酶能够在 pH 值呈碱性条件下加速土壤有机质的脱磷速度,而脲酶能促进尿素水解,二者通过影响土壤微生物可利用氮素、有效磷含量,进而改变土壤微生物数量。过氧化氢酶能够酶促水解过氧化氢,是土壤合成腐殖质、防止过氧化氢对生物毒害的重要氧化还原酶系,其活性与土壤微生物数量有关。转化酶与土壤许多因子有相关性,如与土壤有机质氮与磷含量、微生物数量及土壤呼吸强度有关。在一般情况下,土壤肥力越高,转化酶活性越强,它能够表征土壤生物学活性强度,也可以作为评价土壤熟化程度、土壤肥力水平的一个指标,进而改变土壤微生物数量<sup>[27]</sup>。泥火山区土壤酶活性中,转化酶、磷酸酶是影响土壤细菌、放线菌数量的重要因子。

### 3.4 土壤微生物数量、土壤理化因子、土壤酶活性对土壤条件的综合影响

从土壤因子的主成分分析可知,土壤酶活性、土壤微生物数量是土壤营养成分评估的重要标志,它们与土壤理化因子三者相互作用,共同决定着土壤营养状况与肥力的大小<sup>[28-29]</sup>。土壤磷酸酶活性、细菌数量、放线菌数量、真菌数量和含水量、有机质含量、全氮含量、全磷含量等因子通过彼此之间的相互作用,在对泥火山不同生境土壤营养成分的形成中起着关键作用。磷酸酶、转化酶活性直接影响土壤微生物数量,转化酶活性与细菌数量之间呈显著相关,转化酶活性也是反映电导率、全磷含量的主要因子。本研究通过主成分分析,更进一步了解影响土壤综合条件的主控因素,以期对泥火山不同生境的生态系统结构研究提供基础。然而,本研究仅选取了几种主要的酶活性和理化因子与土壤微生物数量进行探讨,更多酶学指标与环境因子关系尚待深入研究。因此,今后的工作重点除了解微生物的数量分布及其变化规律外,还应该加大采样数量和研究范围,考虑更多影响土壤肥力的指标并加以分析,以便为该区域土壤生态环境研究提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] 范卫平,郑雷清,龚建华,等. 泥火山的形成及其与油气的关系[J]. 吐哈油气,2007,12(1):43-47.
- [2] 沙志彬,张光学,梁金强,等. 泥火山——天然气水合物存在的活证据[J]. 南海地质研究,2005(1):48-56.
- [3] 何家雄,祝有海,翁荣南,等. 南海北部边缘盆地泥底辟及泥火山特征及其与油气运聚关系[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2010,35(1):75-86.
- [4] 吕桂芬,吴永胜,李浩,等. 荒漠草原不同退化阶段土壤微生物、土壤养分及酶活性的研究[J]. 中国沙漠,2010,30(1):104-109.
- [5] 王梅,江丽华,刘兆辉,等. 石油污染物对山东省三种类型土壤微生物种群及土壤酶活性的影响[J]. 土壤学报,2010,47(2):341-346.
- [6] Chen S K, Edwards C A, Subler S. The influence of two agricultural biostimulants on nitrogen transformations, microbial activity, and plant growth in soil microcosms[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(1):9-19.
- [7] 李建辉,路盼盼,张亚平. 新疆泥火山中度嗜盐菌 WS1 的 16S rDNA 分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(7):3358-3360.
- [8] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986:255-285.
- [9] 丁玲玲,祁彪,尚占环,等. 东祁连山不同高寒草地型土壤微生物数量分布特征研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(6):2104-2111.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:30-83.
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:296-339.
- [12] 陈平雁,黄哲明. SPSS 17.0 统计软件应用教程[M]. 北京:人民卫生出版社,2005.
- [13] Stefanic G, Eliade G, Chirnoageanu I. Researches concerning a biological index of soil fertility[C]//Nemes M P, Kiss S, Papaconstea P. Fifth Symposium on Soil Biology. Bucharest: Roman National Society of Soil Science, 1984:35-45.
- [14] Beck T. Methods and application of soil microbial analyses at the landensanstalt fur Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) in Munich for the dertermination of some aspects of soil fertility[C]//Nemes M P, Kiss S, Papaconstea P. Fifth Symposium on Soil Biology. Bucharest: Roman National Society of Soil Science, 1984:13-20.
- [15] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J]. 生态学报,2003,23(3):414-420.
- [16] 鲍艳,胡振琪,柏玉,等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(8):87-90.
- [17] 章家恩,刘文高,胡刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 土壤与环境,2002,11(2):140-143.
- [18] 殷桂涛. 塔城市草原退化的主要原因及其治理对策[J]. 草业科学,2004,21(7):10-12.
- [19] 聂斌斌,蔡强国,张卓文,等. 植被恢复过程中土壤有机质和全氮的变化特征及区域差异[J]. 中国生态农业学报,2011,19(2):363-371.
- [20] 王海燕,雷相东,陆元昌,等. 海南4种典型林分土壤化学性质比较研究[J]. 林业科学研究,2009,22(1):129-133.
- [21] 张庆费,徐绒娣. 浙江天童常绿阔叶林演替过程的凋落物现存量[J]. 生态学杂志,1999,18(2):17-21.
- [22] 魏孝荣,邵明安. 黄土高原沟壑区小流域不同地形下土壤性质分布特征[J]. 自然资源学报,2007,22(6):946-953.
- [23] 李耀,卫智军,刘红梅,等. 不同放牧制度对典型草原土壤中全磷和速效磷的影响[J]. 内蒙古草业,2010,22(1):4-6.
- [24] 侯彦会,周学辉,焦婷,等. 甘肃永昌县放牧草地土壤脲酶活性与土壤肥力的关系初探[J]. 草业学报,2009,18(4):111-116.
- [25] 王启兰,曹广民,王长庭. 高寒草甸不同植被土壤微生物数量及微生物生物量的特征[J]. 生态学杂志,2007,26(7):1002-1008.
- [26] 吴铁航,李振高. 土壤微生物在持续农业中的作用与应用前景[J]. 土壤学进展,1995,23(4):29-36.
- [27] 徐雁,向成华,李贤伟. 土壤酶的研究概况[J]. 四川林业科技,2010,31(2):14-20.
- [28] 牛世全,杨建文,胡磊,等. 河西走廊春季不同盐碱土壤中微生物数量、酶活性与理化因子的关系[J]. 微生物学通报,2012,39(3):416-427.
- [29] Wang M, Chen J K, Li B. Characterization of bacterial community structure and diversity in rhizosphere soils of three plants in rapidly changing salt marshes using 16S rDNA[J]. Pedosphere, 2007, 17(5):545-556.