

# 青海省海北州典型高寒草甸土壤质量评价\*

王启兰<sup>1\*\*</sup> 王溪<sup>1</sup> 曹广民<sup>1</sup> 王长庭<sup>1</sup> 龙瑞军<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008; <sup>2</sup>兰州大学青藏高原生态系统管理国际中心, 兰州 730020)

**摘要** 以青海省海北州的典型高寒草甸(金露梅灌丛草甸、矮嵩草草甸、高山嵩草草甸)为研究对象,以7种土壤微生物活性指标和10种土壤理化性质指标组成的土壤生物肥力性质为评价指标,对不同利用方式下草甸的土壤质量进行主成分分析(PCA).结果表明:高寒草甸土壤综合质量可用3个主成分(PC)来表征,其中PC<sub>1</sub>上有13个指标的载荷较高,PC<sub>2</sub>上有3个指标的载荷较高,PC<sub>3</sub>上只有全磷的载荷较高.结合Norm值的方法,筛选出微生物生物量碳、脲酶、碱性磷酸酶、蛋白酶、有机碳、全氮、有效氮、有效磷、有效钾、容重和阳离子交换量(CEC)等11项指标,建立了海北高寒草甸土壤综合质量评价的最小数据集(MDS).通过主成分和对应的权重系数分析,对3种草甸的土壤综合质量进行排序,0~10 cm层为矮嵩草草甸>金露梅灌丛>高山嵩草草甸;10~20 cm层为金露梅灌丛>高山嵩草草甸>矮嵩草草甸.

**关键词** 高寒草甸 土壤质量评价 主成分分析

**文章编号** 1001-9332(2011)06-1416-07 **中图分类号** S154.3 **文献标识码** A

**Soil quality assessment of alpine meadow in Haibei State of Qinghai Province.** WANG Qilan<sup>1</sup>, WANG Xi<sup>1</sup>, CAO Guang-min<sup>1</sup>, WANG Chang-ting<sup>1</sup>, LONG Rui-jun<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; <sup>2</sup>International Centre for Tibetan Plateau Ecosystem Management, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(6): 1416-1422.

**Abstract:** Taking the typical alpine meadows *Potentilla frolicosa* shrub meadow, *Kobresia humilis* meadow, and *K. pygmaea* meadow in the Haibei State of Qinghai Province as the research objects, a comprehensive assessment of soil quality was conducted by principal component analysis (PCA), with seven indices of soil microbial activities and ten indices of soil chemical properties. The soil quality of the alpine meadow could be characterized by three principal components (PC). In the first component (PC<sub>1</sub>), 13 indices had high factorial loads; in the second component (PC<sub>2</sub>), 3 indices had high factorial loads; in the third component (PC<sub>3</sub>), only one index, total phosphors, had high factorial load. In combining with Norm values, eleven indices including microbial biomass carbon (MBC), urease, alkaline phosphatase, protease, organic matter, total N, available N, available P, available K, bulk density, and CEC were selected to establish minimum data set (MDS) for the comprehensive assessment of soil quality of alpine meadow in Haibei. The PCA and corresponding weight coefficient analysis showed that the soil quality (0-10 cm and 10-20 cm layers) of the three kind meadows was in the order of *K. humilis* meadow > *P. frolicosa* shrub meadow > *K. pygmaea* meadow, and *P. frolicosa* shrub meadow > *K. pygmaea* meadow > *K. humilis* meadow, respectively.

**Key words:** alpine meadow; soil quality assessment; principal component analysis.

土壤质量是土壤在生态系统内维持生物的生产力、保护环境质量以及促进动植物健康能力的综合

量度<sup>[1]</sup>. 土壤质量作为一种固有的土壤属性,是土壤理化及生物属性的综合反映<sup>[2]</sup>,也是揭示土壤条件动态最敏感的指标<sup>[3-5]</sup>,能体现自然因素及人类活动对土壤的影响.土壤质量问题正在不断得到世界范围内的共同关注<sup>[6-7]</sup>. 一个高质量的土壤应该

\* 国家自然科学基金重点项目(30730069)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-Z-1020)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: wql@nwipb. cas. cn

2010-12-07 收稿,2011-03-14 接受.

具有良好的生物活性与稳定的微生物种群组成<sup>[8]</sup>。土壤微生物是维持土壤质量的重要组成部分,调节着土壤动植物残体和施入土壤的有机物质及其他有害化合物的分解、生物化学循环(包括生物固氮作用)和土壤结构的形成等过程。微生物生物量、土壤酶及其他土壤生物化学变量对环境变化很敏感,能够较早地反映出土壤质量乃至土壤生态系统功能的变化<sup>[3-5]</sup>,是土壤质量评价不可缺少的指标<sup>[9-10]</sup>。

高寒草甸作为青藏高原草地生态系统的主要类型,占青藏高原面积的 19.2%,是当地畜牧业发展的主要基础<sup>[11]</sup>。近年来,由于全球变暖和人类活动的双重干扰,高寒草甸生态环境发生了重大改变,草场退化,水土流失日趋严重,生物多样性急剧缩减,威胁到当地的生态环境、生物多样性保护和畜牧业经济的发展<sup>[12]</sup>。草地的退化实际上是植被-土壤系统的退化<sup>[13]</sup>,土壤质量的优劣关系到整个生态系统的稳定性。为保护青藏高原的生态环境,减缓草地退化,需要充分了解草地退化演替过程中的一些土壤生物化学过程和特征。而国内此类研究大多集中在内蒙古草原和东北草原上,对青藏高原高寒草甸的研究鲜有报道。本文以高寒草甸不同草地利用方式为研究对象,在青海省海北州对有关土壤指标(土壤容重、pH、有机质、全氮、有效氮、全磷、有效磷、全钾、有效钾、阳离子交换量)和微生物学指标进行研究,以期评价高寒草甸土壤质量提供一些量化指标。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区概况

研究地点位于青藏高原东北隅的祁连山南坡谷地的中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站),地理坐标为 37°29'—37°45' N, 101°12'—101°23' E,海拔 2900 ~ 3500 m。该地区属高原大陆性气候,无四季之分,仅有冷、暖季之别,暖季短暂而凉爽,冷季寒冷而漫长。年平均气温-1.7℃,年降水量在 426 ~ 860 mm 之间,其中 80% 的降水集中于植物生长季的 5—9 月,年均蒸发量达 1160.3 mm,无绝对无霜期。由于长期受高寒气候条件的影响,形成了以寒冷湿中生的、多年生草本植物群落为主的高原地带性植被类型——高寒草甸植被类型。因地形部位、土壤温度、湿度、地下水、土壤性状等的综合影响,使高寒草甸在不同地形部位形成了差异较大的金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛草甸(主要分布在土壤湿度较高的山地阴坡和滩地)、矮嵩草(*Kobresia humi-*

*lis*)草甸(主要分布在土壤湿度适中的平缓滩地)、高山嵩草(*K. pygmaea*)草甸(土壤湿度较低的山地阳坡)、藏嵩草(*K. tibetica*)草甸等植被类型,植物生长期短,生物生产力较低。主要土壤类型为草毡寒冻雏形土、暗沃寒冻雏形土和有机寒冻潜育土,土壤呈有机质及全量养分丰富而速效养分贫乏的特点。

### 1.2 研究方法

于 2008 年 7 月中旬的植物生长旺季(草盛期),在海北站区选择典型的金露梅灌丛草甸(Pf)、矮嵩草草甸(Kh)、高山嵩草草甸(Kp)为试验样地,以“S”型取样方法用土钻随机分层采集 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 的土样 50 余份,挑取草根,过 2 mm 筛。微生物计数采用稀释平板法,细菌采用营养琼脂培养基,放线菌用改良高氏 1 号培养基,真菌采用马丁氏培养基;微生物生物量碳(MBC)采用氯仿熏蒸-0.5 mol·L<sup>-1</sup>硫酸钾浸提法,浸提液中的有机碳用 TOC-5000A 型有机质分析仪测定;土壤脲酶活性采用产生氨量的比色法,蛋白酶活性采用产生酪氨酸量的比色法,碱性磷酸酶活性采用基质水解时生成酚量的比色法<sup>[14]</sup>;土壤理化因素的测定参考文献[15]中的方法进行;土壤有机质采用 TOC-5000A 型有机质分析仪测定,土壤容重用环刀法,土壤 pH 用电极法。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS 13.0 统计软件,以最小显著差异法(LSD)分析不同草甸所测指标的差异程度,以相关性分析评价高寒草甸土壤理化性质与土壤微生物、酶活性的关系;用 PCA 分析表征高寒草甸土壤质量的土壤物理化学和生物学指标。在用 PCA 选取 MDS 评价参数时,为了避免信息丢失,通过计算变量 Norm 值(矢量常模)的方法来克服此缺陷。Norm 值的计算公式如下:

$$N_{ik} = \sqrt{\sum_1^k (U_{ik}^2 + \lambda_k)}$$

式中: $N_{ik}$  是第  $i$  个变量在特征值  $\geq 1$  的前  $k$  个主成分上的综合荷载; $U_{ik}$  是第  $i$  个变量在第  $k$  个主成分上的荷载; $\lambda_k$  是第  $k$  个主成分的特征值。

## 2 结果与分析

### 2.1 高寒草甸土壤理化性质变化

由表 1 可以看出,在 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土壤层,pH 均表现为 Kh>Kp>Pf,全钾为 Pf>Kh>Kp,有效氮为 Kh>Kp>Pf,且不同植被间存在显著差异( $P < 0.05$ )。容重在 0 ~ 10 cm 层为 Pf>Kh 及 Kp,在 10 ~

20 cm层为 Kh>Pf 及 Kp; 有机质在 0~10 cm 层以 Kh>Kp 和 Pf, 在 10~20 cm 层以 Pf 和 Kp>Kh; 全氮在 0~10 cm 层为 Kh>Kp 和 Pf, 在 10~20 cm 层为 Pf 和 Kp>Kh; 全磷在 0~10 cm 层为 Kp>Pf 和 Kh, 在 10~20 cm 层为 Pf 和 Kp>Kh; 有效磷在两层均为 Kh 和 Kp>Pf; 有效钾均为 Kh>Kp>Pf; 阳离子交换量在表层为 Kp>Pf 和 Kh, 在下层为 Pf 和 Kp>Kh; 植被间各项指标的差异不同。

表 1 高寒草甸土壤理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of alpine meadow soil (mean±SE)

理化性质 Physico-chemical property	土壤深度 Soil depth (cm)	金露梅灌丛 <i>P. fruticosa</i> shrub meadow	矮嵩草草甸 <i>K. humilis</i> meadow	高山嵩草草甸 <i>K. pygmaea</i> meadow
pH	0~10	6.43±0.14c	7.50±0.22ab	7.36±0.12b
	10~20	6.41±0.16c	7.55±0.30a	7.48±0.16ab
容重 Bulk density (g·cm <sup>-3</sup> )	0~10	0.88±0.07bc	0.75±0.05c	0.75±0.04c
	10~20	0.96±0.04b	1.11±0.09a	0.92±0.13b
有机质 Organic matter (g·kg <sup>-1</sup> )	0~10	122.49±14.56bc	138.52±13.82a	128.44±8.48b
	10~20	104.47±8.21c	78.90±4.69d	101.42±27.96c
全氮 Total N (g·kg <sup>-1</sup> )	0~10	5.66±0.45bc	6.53±0.72a	5.93±0.28b
	10~20	5.16±0.43c	4.22±0.48d	4.89±0.98c
全磷 Total P (g·kg <sup>-1</sup> )	0~10	1.97±0.03b	1.94±0.07bc	2.02±0.16a
	10~20	1.97±0.03b	1.90±0.07c	1.94±0.11bc
全钾 Total K (g·kg <sup>-1</sup> )	0~10	25.34±1.31a	20.12±1.03b	18.51±1.31c
	10~20	26.23±1.46a	21.58±1.16b	18.22±0.48c
有效氮 Available N (mg·kg <sup>-1</sup> )	0~10	11.93±2.44cd	19.37±4.11a	13.62±5.47c
	10~20	8.76±1.81d	16.08±7.07b	12.12±4.54cd
有效磷 Available P (mg·kg <sup>-1</sup> )	0~10	6.81±0.25b	9.56±0.98a	9.22±1.87ab
	10~20	5.95±0.28c	6.44±1.22b	6.65±1.26b
有效钾 Available K (mg·kg <sup>-1</sup> )	0~10	254.58±28.88c	390.88±37.97a	282.25±57.33b
	10~20	136.43±15.01e	292.66±31.10b	155.28±24.99d
阳离子交换量 CEC	0~10	293.36±34.71b	286.18±28.39bc	321.77±16.52a
	10~20	279.40±26.98c	238.84±15.16d	277.64±14.87c

同行中不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different letters in the same index row indicated significant difference at 0.05 level.

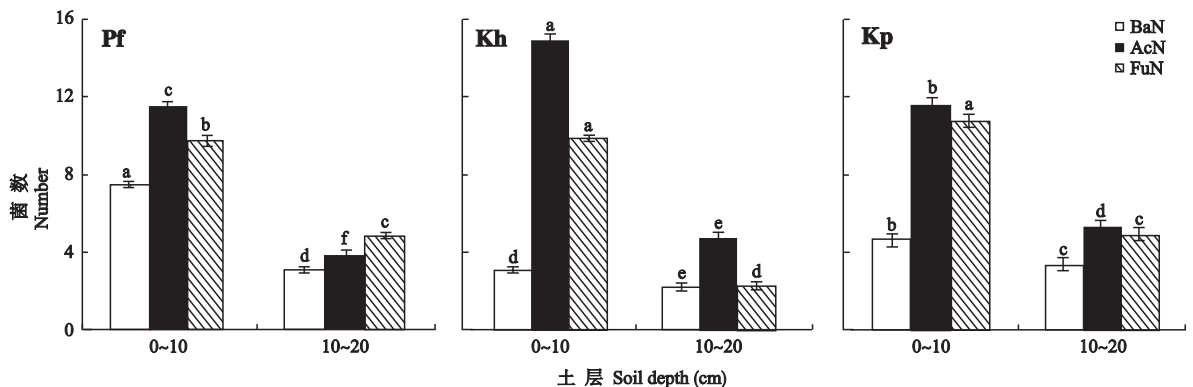


图 1 高寒草甸土壤微生物数量

Fig. 1 Numbers of soil microorganisms in alpine meadow (mean±SE).

Pf: 金露梅灌丛草甸 *P. fruticosa* shrub meadow; Kh: 矮嵩草草甸 *K. humilis* meadow; Kp: 高山嵩草草甸 *K. pygmaea* meadow. BaN: 细菌数 Bacteria number (×10<sup>7</sup>); AcN: 放线菌数 Actinomycetes number (×10<sup>6</sup>); FuN: 真菌数 Fungi number (×10<sup>4</sup>). 不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different letters indicated significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

## 2.2 高寒草甸土壤微生物的变化

由图 1 可以看出, 细菌数量在 0~10 cm 层为 Pf>Kp>Kh, 10~20 cm 层为 Kp>Pf>Kh, 放线菌数量在 0~10 cm 层为 Kh>Kp>Pf, 10~20 cm 层为 Kp>Kh>Pf, 不同植被间差异明显 ( $P<0.05$ ); 真菌数量在 0~10 cm 层为 Kp 及 Kh>Pf, 10~20 cm 层为 Kp 及 Pf>Kh, 不同植被间呈不同的差异. 由图 2 可见, 微生物生物量碳在 0~10 cm 层为 Kh>Pf 及 Kp, 10~20 cm

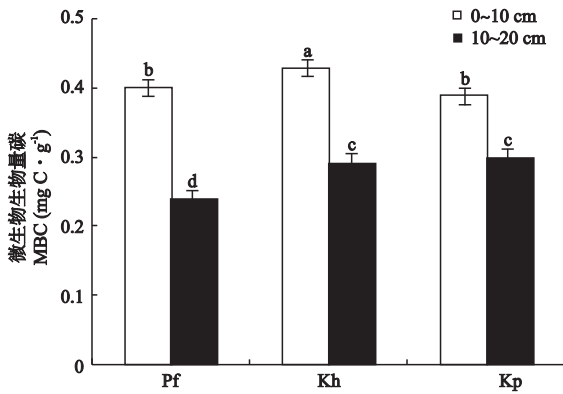


图2 高寒草甸土壤微生物生物量碳

Fig. 2 Microbial biomass carbon (MBC) in alpine meadow soil (mean±SE).

层为 Kh 及 Kp>Pf, 不同植被在不同层次间的差异不同.

### 2.3 高寒草甸土壤酶活性的变化

脲酶是特异性催化尿素水解的酶, 蛋白酶是催化蛋白质中肽键水解的酶, 它们的活性大小标志着

土壤氮素转化特别是有效化过程; 碱性磷酸酶能够催化土壤磷酸酯的水解反应, 其活性高低直接影响着土壤有机磷的分解转化及其生物有效性. 由图3可以看出, 脲酶活性在0~10 cm层为 Kh>Kp>Pf, 在10~20 cm层为 Kp>Kh>Pf; 蛋白酶活性在0~10 cm和10~20 cm层均表现为 Pf>Kh 和 Kp; 碱性磷酸酶活性在0~10 cm层为 Kh>Pf>Kp, 在10~20 cm层为 Pf>Kp>Kh. 3种酶活性在不同草甸、不同层次之间均存在不同程度的差异.

### 2.4 高寒草甸土壤环境因子与微生物、酶活性的关系

由表2可见, 土壤理化性质与微生物、土壤酶活性之间有着密切的关系. pH只与脲酶、蛋白酶存在显著相关关系; 除蛋白酶外, 其他所测生物指标与容重呈显著负相关, 与有机质呈显著的正相关; 全氮、有效磷与细菌数、蛋白酶的相关性不显著, 与其他生物因子均存在显著的相关关系; 全磷与所有的生物指标的相关性不显著, 全钾只与脲酶呈显著的负相

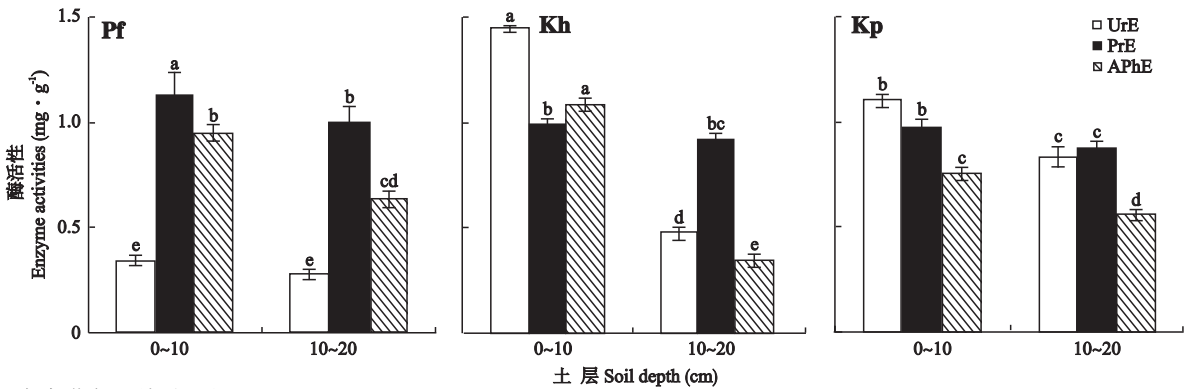


图3 高寒草甸土壤酶活性

Fig. 3 Enzyme activities in alpine meadow soil (mean±SE).

UrE: 脲酶 Urease; PrE: 蛋白酶 Protease; APhE: 碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase.

表2 高寒草甸土壤性质与微生物活性的相关关系

Table 2 Correlations between soil properties and microbial activities in alpine meadow (n=18)

	MBC	BaN	AcN	FuN	UrE	PrE	APhE
pH	0.131	-0.423	0.292	-0.002	0.620 **	-0.674 **	-0.270
BD	-0.627 **	-0.479 *	-0.737 **	-0.881 **	-0.710 **	-0.110	-0.726 **
OM	0.647 **	0.489 *	0.722 **	0.813 **	0.536 *	0.267	0.808 **
TN	0.646 **	0.406	0.722 **	0.791 **	0.543 *	0.270	0.798 **
TP	0.083	0.266	0.120	0.267	0.043	0.198	0.187
TK	-0.285	0.007	-0.405	-0.336	-0.730 **	0.583 *	0.079
AN	0.606 **	-0.081	0.742 **	0.488 *	0.692 **	-0.085	0.341
AP	0.709 **	0.389	0.860 **	0.930 **	0.795 **	0.096	0.595 **
AK	0.720 **	0.015	0.844 **	0.600 **	0.703 **	0.104	0.450
CEC	0.581 *	0.745 **	0.542 *	0.809 **	0.436	0.200	0.550 *

BD: 容重 Bulk density; OM: 有机质 Organic matter; TN: 全氮 Total N; TP: 全磷 Total P; TK: 全钾 Total K; AN: 有效氮 Available N; AP: 有效磷 Available P; AK: 有效钾 Available K. 下同 The same below. \* P<0.05; \*\* P<0.01.

表3 土壤质量因子主成分的贡献率及因子载荷、权重  
Table 3 Eigenvalue and contribution rate of principal factors

土壤属性 Soil property	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	Norm 值 Norm value	变异系数 Coefficient of variation (%)
FuN	0.96	0.10	-0.07	2.875	47.21
AcN	0.95	-0.17	0.20	2.868	51.78
AP	0.91	-0.09	-0.23	2.740	26.06
MBC	0.87	0.05	0.27	2.624	20.57
BD	-0.87	-0.12	0.34	2.646	14.23
OM	0.85	0.24	-0.04	2.580	21.25
TN	0.83	0.19	0.10	2.509	17.04
AphE	0.82	0.39	0.27	2.585	11.68
UrE	0.80	-0.53	-0.11	2.600	58.46
CEC	0.74	0.33	-0.46	2.376	10.06
AK	0.70	-0.45	0.46	2.340	37.96
AN	0.63	-0.57	0.43	2.248	31.76
BaN	0.51	0.62	-0.12	1.938	31.48
TP	0.26	0.36	-0.53	1.250	4.40
PrE	0.24	0.75	0.47	1.721	10.69
pH	0.14	-0.95	-0.07	1.872	7.48
TK	-0.42	0.69	0.46	1.920	8.52
特征值 Eigenvalue	8.92	3.68	1.72		
方差贡献率 Contribution rate of variance (%)	52.44	21.67	10.11		
累计贡献率 Cumulative (%)	52.44	74.11	84.22		

关,与蛋白酶呈显著的正相关;有效氮、有效钾与微生物生物量碳、放线菌数、真菌数、脲酶活性显著相关,而与细菌数、蛋白酶、碱性磷酸酶的相关性不强;阳离子交换量除与脲酶和蛋白酶相关性不显著外,与其他因子均呈现出显著的相关关系。

## 2.5 土壤质量的主成分分析

**2.5.1 特征根和方差贡献率** 由表3可看出,由10个土壤理化性质指标和7个土壤微生物活性指标组成的土壤肥力指标所表征的土壤质量前3个主成分的累积方差贡献率达到84.22%(>80%),且整体上没有变量丢失,可以用来反映高寒草甸土壤属性的变异性。从方差贡献率和特征值来看,各主成分评价土壤质量的影响力依次为PC<sub>1</sub>>PC<sub>2</sub>>PC<sub>3</sub>。

**2.5.2 因子载荷** 一般认为,因子负荷越大,变量在相应主成分中的权重就越大<sup>[16]</sup>。由表3可以看出,细菌、放线菌、真菌、微生物生物量碳、碱性磷酸酶、脲酶、有机质、全氮、有效氮、有效磷、有效钾、阳离子

交换量等土壤指标在PC<sub>1</sub>上有较高的正载荷,而容重有较高的负载荷;在PC<sub>2</sub>上,全钾和蛋白酶有较高的正载荷,pH有较高的负载荷;全磷在PC<sub>3</sub>上有较高的负载荷。

### 2.5.3 土壤质量评价指标最小数据集(MDS)的建立

对土壤质量评价必须先大量的土壤理化、生物学参数中选取对土壤质量敏感的评价参数,构成最小数据集(MDS)<sup>[17-18]</sup>。通过PCA分析,依据土壤属性的分组原则进行分组,将特征值 $\geq 1$ 和因子载荷 $\geq 0.5$ 选为一组,每组中总分值在最高总分值10%范围内的参数被选取,再分析每组中所选参数间的相关性,若高度相关( $r>0.5$ ),则选取总分值最高的进入最终的MDS。若相关性很低,则全部进入最终的MDS<sup>[19]</sup>。

由表3可以看出,所测的3大类微生物的数量、微生物生物量碳、碱性磷酸酶、脲酶、有机碳、全氮、有效氮、有效磷、有效钾、容重和阳离子交换量进入第1主成分,由于MBC与细菌、真菌和放线菌之间有很高的相关性( $r$ 分别为0.650、0.888和0.774; $P<0.01$ ),结合四者的Norm值大小可以将细菌、真菌、放线菌剔除,因此,第1组参数中只有微生物生物量碳、脲酶、碱性磷酸酶、有机碳、全氮、有效氮、有效磷、有效钾、CEC和容重最终进入MDS。细菌数量、脲酶、蛋白酶、有效氮、pH和全钾进入第2主成分,由于pH与有效氮、脲酶之间的相关性很高( $r=0.576, P<0.05; r=0.620, P<0.01$ ),所以,pH、蛋白酶和全钾进入MDS,其余可以被剔除。在第3组只有全磷进入MDS。

定量评价土壤质量宜选择中度、高度敏感且变异系数大于10%的指标<sup>[20]</sup>,由于pH、全磷和全钾的变异系数(7.48%、4.40%、8.52%)均<10%,被剔除。最终进入评价指标最小数据集的土壤参数有微生物生物量碳、脲酶、碱性磷酸酶、蛋白酶、有机碳、全氮、有效氮、有效磷、有效钾、容重和CEC。

**2.5.4 高寒草甸不同草地利用方式下土壤质量的评价** 根据主成分F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>和对应的权数E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>之积F综=F<sub>1</sub>E<sub>1</sub>+F<sub>2</sub>E<sub>2</sub>+F<sub>3</sub>E<sub>3</sub>;计算得到各土壤(层)的综合主成分及排名(表4)。在0~10cm层,土壤质量以矮嵩草草甸最好,金露梅灌丛次之,高山嵩草草甸最差,在10~20cm层,以金露梅灌丛最好,高山嵩草草甸次之,矮嵩草草甸最差。由表层到深层,土壤质量明显下降。

表 4 主成分值、综合主成分值及排序

Table 4 Principal value, integrative value of principal and rank

植被类型 Vegetation type	土壤深度 Soil depth (cm)	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F 综合值 Integrative F value	综合排名 Rank
金露梅灌丛草甸	0 ~ 10	0.11	0.31	1.73	0.46	2
<i>P. fruitions</i> shrub meadow	10 ~ 20	-1.11	-0.19	0.75	-0.31	4
矮嵩草草甸	0 ~ 10	1.75	-0.01	-0.23	0.58	1
<i>K. humilis</i> meadow	10 ~ 20	-0.08	-1.73	-0.59	-0.65	6
高山嵩草草甸	0 ~ 10	0.28	1.29	-0.62	0.36	3
<i>K. pygmaea</i> meadow	10 ~ 20	-0.95	0.32	-1.05	-0.44	5

### 3 讨 论

土壤质量是土壤系统内物理、化学和生物学组分之间复杂的相互作用体系<sup>[21]</sup>,土壤生物学性质几乎与所有的土壤过程有关. Pinkhurst<sup>[20]</sup>研究表明,土壤生物化学指标应当满足下列标准:1)反映土壤生态过程的结构或功能,同时适用于所有土壤类型和地貌特点;2)对土壤健康变化做出反应;3)有可行的度量测定方法;4)能够进行合理的解释.土壤微生物是维持土壤质量的重要组分,调节着土壤动植物残体和施入土壤的有机物质及其他化合物的分解,生物化学循环(包括生物固氮作用)和土壤结构的形成等过程.即土壤生态系统的功能主要由土壤微生物机制所控制<sup>[9]</sup>.土壤酶来自微生物和植物根系的分泌作用,是土壤有机养分转化的一个重要因素,在C、N、P和S的循环中也起着重要的作用,能综合地反映出土壤的肥力水平<sup>[10,14,21]</sup>.土壤生物学性能敏感地反映出土壤质量和健康的变化<sup>[3]</sup>,并具有较好的时效性,能在短期内反映出土壤质量的变化<sup>[7,22-23]</sup>,是土壤质量评价不可缺少的指标.

在高寒草甸土壤中,不同土地利用状况下细菌、放线菌、真菌数量、微生物生物量碳及3种酶活性不同.从土壤性状来看,矮嵩草草甸优于小嵩草草甸和金露梅灌丛草甸,其土壤生物指标也高于后两种草甸.这说明土壤理化指数是确保土壤生产力和维持土壤功能的基础<sup>[24]</sup>.随着土壤深度的加深,3种草甸土壤的有机质、全氮、有效氮、有效磷、有效钾和生物指标均表现出明显的下降趋势<sup>[9,20,22]</sup>,这进一步印证了生态系统各个组分之间相互调节,使土壤质量指数处于不断变化的状态,最终土壤质量以生物指数的形式表现出来<sup>[6,24]</sup>.

相关分析表明,土壤细菌、放线菌、真菌数量、微生物生物量碳、脲酶、碱性磷酸酶及蛋白酶与土壤理化性状有着密切的相关性. Zhang等<sup>[25]</sup>认为,土壤聚合体不仅对微生物群落的结构有影响,还借助土壤

有机质供给的保护作用调节微生物群落结构的稳定性;随着微生物群落组成的变化,土壤酶活性也发生变化<sup>[26]</sup>.这说明土壤有机质、养分等的微小变化可以引起以上生物学变量的波动.

García-Ruiz等<sup>[10]</sup>认为,由于土壤结构和功能的复杂性,可以用多种土壤酶活性的几何平均值(GMea)作为土壤质量的生物学指标. Gil-Sotres等<sup>[6]</sup>认为,与土壤C、N、P和S的生物循环有关的土壤生物化学属性(如微生物生物量碳、脱氢酶活性、氮矿化潜能等)可以作为土壤质量的生物指标,水解酶类(磷酸酶、脲酶和 $\beta$ -葡萄糖苷酶等)的活性也可单独或以综合指标作为表征土壤质量的指标.本研究结果表明,高寒草甸的土壤综合质量可以用微生物生物量碳、脲酶、碱性磷酸酶、蛋白酶、有机碳、全氮、有效氮、有效磷、有效钾、容重和CEC等土壤生物指标考量<sup>[4,9,22]</sup>.

对土壤质量综合得分的估测可以为草地资源的合理利用和草地畜牧业的可持续发展提供依据.本文选择的3种土地利用方式中,矮嵩草草甸的水热条件、养分状况和土壤生物活性相对优越,使其0~10cm的土壤质量得分位居第一,说明在适度的放牧压力下,可以充分利用矮嵩草草甸作为放牧草场,但是其10~20cm层土壤质量最差,一旦表层剥蚀,植被恢复比较困难;金露梅灌丛草甸虽表层土壤质量较差,但植被恢复较矮嵩草草甸容易;小嵩草草甸深层的土壤质量居中,但表层的质量最差,所以不易过度放牧.

### 4 结 论

高寒草甸土壤综合质量可用3个主成分来表征,以微生物生物量碳、脲酶、碱性磷酸酶、蛋白酶、有机碳、全氮、有效氮、有效磷、有效钾、容重和阳离子交换量等11项指标作为衡量土壤质量的指标.

海北高寒草甸土壤综合质量在0~10cm层以矮嵩草草甸最优,金露梅灌丛次之,高山嵩草草甸最

差;10~20 cm层以金露梅灌丛最优,高山嵩草草甸次之,矮嵩草草甸最差。

#### 参考文献

- [1] Zhao Q-G (赵其国), Sun B (孙波), Zhang T-L (张桃林). Soil quality and sustainable environment. I. The definition and evaluation methodology of soil quality. *Soils (土壤)*, 1997(3): 113-120 (in Chinese)
- [2] Badiane NNY, Chotte JL, Pate E, *et al.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. *Applied Soil Ecology*, 2001, **18**: 229-238
- [3] Sun B (孙波), Zhao Q-G (赵其国), Zhang T-L (张桃林). Soil quality and sustainable environment. III. Biological indicators of soil quality evaluation. *Soils (土壤)*, 1997(5): 225-234 (in Chinese)
- [4] Dick RP. A review: Long-term effect of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1992, **40**: 25-36
- [5] Arshad MA, Coen GM. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1992, **7**: 25-31
- [6] Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leiro's MC, *et al.* Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, **37**: 877-887
- [7] Lagomarsino A, Moscatelli MC, Di Tizio A, *et al.* Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. *Ecological Indicators*, 2009, **9**: 518-527
- [8] Schloter M, Dilly O, Munch JC. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, **98**: 255-262
- [9] Benintende SM, Benintende MC, Sterren MA, *et al.* Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. *Ecological Indicators*, 2008, **8**: 704-708
- [10] García-Ruiz R, Ochoa V, Hinojosa MB, *et al.* Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, **40**: 2137-2145
- [11] Sun H-L (孙鸿烈). Formation and Evolution of Qinghai-Tibet Plateau. Beijing: Science Press, 1996: 168-192 (in Chinese)
- [12] Li W-H (李文华), Zhou X-M (周兴民). Qinghai-Tibet Plateau Ecosystem and Its Optimizing Utilization Mode. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998 (in Chinese)
- [13] Chen Z-Z (陈佐忠), Wang S-P (汪诗平). Typical Grassland Ecosystem of China. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese)
- [14] Guan S-Y (关松荫). Soil Enzyme and Its Research Methods. Beijing: China Agriculture Press, 1986 (in Chinese)
- [15] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所). Physical and Chemical Analysis of Soil. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983 (in Chinese)
- [16] Qiu L-P (邱莉萍), Liu J (刘军), Wang Y-Q (王益权), *et al.* Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility. *Plant Nutrition and Fertilizer Science (植物营养与肥料学报)*, 2004, **10**(3): 277-280 (in Chinese)
- [17] Rezaei SA, G ilkes RJ, Andrews SS. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*, 2006, **136**: 229-234
- [18] Govaerts B, Sayre KD, Deckers J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the high lands of Mexico. *Soil & Tillage Research*, 2006, **87**: 163-174
- [19] Li G-L (李桂林), Chen J (陈杰), Sun Z-Y (孙志英), *et al.* Establishing a minimum dataset for soil quality assessment based on soil properties and land use change. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 2007, **27**(7): 2715-2724 (in Chinese)
- [20] Pinkhurst CE. Biodiversity of soil organisms as an indicator of soil health// Pankhurst CE, eds. Biological Indicators of Soil Health. Wallingford, UK: CAB International, 1997: 297-324
- [21] Caldwell BA. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiologia*, 2005, **49**: 637-644
- [22] Kennedy AC, Papendic RL. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, **50**: 243-248
- [23] Filip Z. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, **88**: 169-174
- [24] Knoepp JD, Coleman DC, Crossley Jr DA, *et al.* Biological indices of soil quality: An ecosystem case study of their use. *Forest Ecology and Management*, 2000, **138**: 357-368
- [25] Zhang B, Deng H, Wang HL, *et al.* Does microbial habitat or community structure drive the functional stability of microbes to stresses following re-vegetation of a severely degraded soil? *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, **42**: 850-859
- [26] Šnajdr J, Valášková V, Merhautova V, *et al.* Spatial variability of enzyme activities and microbial biomass in the upper layers of *Quercus petraea* forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, **40**: 2068-2075

作者简介 王启兰,女,1964年生,副研究员.主要从事微生物生态学研究,发表论文50余篇. E-mail: wql@nwipb.cas.cn

责任编辑 李凤琴