

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2015.01.009

# 高寒草地土壤有机碳含量同植物功能群数量特征关联度或然性初探

林 丽, 李以康, 张法伟, 郭小伟, 刘淑丽, 杜岩功, 曹广民\*

(中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008)

**摘要:**采用逐次回归分析法及主成分分析法,对青藏高原高寒草地不同土地利用方式(草甸、草原、人工草地、农田)的 67 块样地植物功能群数量特征同土壤有机碳含量的耦合性进行分析,以明晰土地利用格局或植被演替对土壤有机碳同植物群落数量特征的影响。结果表明:青藏高原植物-土壤系统有机碳含量在草地利用模式变化或演替过程中具有较强的解释能力。土壤有机碳含量同植物功能群数量特征关联度的或然性受到草地的利用模式、利用强度和利用历史等因素的影响。人工生态系统土壤有机碳含量同地上植物功能群数量特征之间无明显的耦合关系;健康草地生态系统土壤有机碳含量容易同放牧顶级群落优势种数量特征建立一定的耦合关系。退化草地生态系统土壤有机碳含量容易同提高限制性土壤养分的植物功能群建立耦合关系。

**关键词:**土壤有机碳含量;土地利用格局;群落演替;耦合关系

中图分类号:Q941

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2015)01-0055-07

## The Impossible Relationships Between Plant Functional Groups and Organic Carbon Content under Different Land Utilization Types in Alpine Grassland

LIN Li, LI Yi-kang, ZHANG Fa-wei, GUO Xiao-wei, LIU Shu-li, DU Yan-gong, CAO Guang-min\*

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810008, China)

**Abstract:** Using the principal component analysis and stepwise regress to analysis the plant functional groups quantitative characteristics and soil organic carbon content in alpine grasslands under the different land use types (meadow, grassland, pasture, cropland), the results showed that: principal component could extract four principal components, soil organic carbon played a very important roles in the research factors. The relationships between soil organic carbon contents and community plant functional groups were affected by land use pattern, land use intensity and land use history. It was difficult to make the relationships between soil organic carbon contents and plant functional groups in artificial ecology systems. And it was easy to establish the relationships between the soil organic carbon contents and dominance species parameters in healthy grasslands, while it was easy to establish the relationships between soil organic carbon contents and the parameters which could enhance restrictive soil nutrition.

**Key words:** Soil organic carbon; Land use pattern; Plant community succession process; Coupling correlation

青藏高原草地面积约  $1.5 \times 10^8$  ha,在高原草地畜牧业中占有十分重要的地位。其植被的状况,不仅对当地牧业生产,同时也对长江、黄河中下游地区的工农业生产具有重大的影响<sup>[1-2]</sup>。人们对草地资源过度索求正在或即将对高寒草甸生态系统的结

构、功能和分布格局产生深远的影响,严重威胁了高寒草地生态系统的健康和当地及周边区域的生态安全。

植物群落数量特征是评价高寒草地生态系统健康指标体系的重要成分<sup>[3-5]</sup>。放牧作为影响

收稿日期:2014-03-27;修回日期:2014-04-24

基金项目:青海省科技厅促进新农村建设项目“家庭制式高寒草地功能提升技术”(2013-N-540);中国地质调查局地质调查项目“青藏高原矿山植被恢复技术专题研究”;国家科技支撑计划课题“干旱沟壑型小流域综合生态治理技术集成与示范”(2012BAC08B06)资助

作者简介:林丽(1980-),女,辽宁抚顺人,硕士,工程师,主要从事高寒草甸生态系统生物地球化学循环研究, E-mail: hanxiao\_2000\_00@126.com; \*通信作者 Author for correspondence, E-mail: caogm@nwipb.cas.cn

植物群落变化最重要的因子,通过采食改变植物群落的组成结构<sup>[6-7]</sup>,通过家畜践踏改变土壤结构,进而影响植物群落特征及土壤理化性质<sup>[8-9]</sup>。人工生态系统是对自然生态系统最为强烈的改造,一旦天然草地生态系统被改造成人工生态系统,草地的植被组成、结构、土壤理化性质的改变程度和速率均远高于自然生态系统<sup>[6-7]</sup>。因此,讨论植物群落特征和土壤特征对人类活动的响应需充分考虑草地土地利用模式、草地的演替阶段及人类活动强度等<sup>[3,10]</sup>。

土壤有机碳是土壤固相的重要组成部分,是集土壤肥力评价、土壤质量评价、全球气候变化反映能力于一体的综合性指标<sup>[11-12]</sup>。受到分布区域、人类活动强度、地形等多种因素的影响。高寒草地生态系统有机碳形成、积累及分解过程不同,使得有机碳含量同植物群落数量特征之间的关系具有不确定性<sup>[6-7]</sup>,因此探讨不同土地利用方式或相同土地利用方式不同利用强度下草地植物群落数量特征同土壤有机碳含量相关的或然性,是深入剖析土地利用格局改变或植被群落演替过程中群落及土壤养分特征之间协同变化关系。

本研究广泛选取青藏高寒草地生态系统代表性

土地利用模式(高寒草原、高寒草甸、人工草地和农田),应用植物功能群数量特征(生物量、盖度)和土壤理化特征(容重等),探讨它们同土壤有机碳含量关联度的或然性,以探讨群落表现生态因子同有机碳之间的协同变化关系,遴选和整合高寒草地生态系统的健康评价指标体系,完善其分区管理模式提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

选取青藏高原海北州、果洛州、玉树州和藏北高原等区域32个县(乡)藏嵩草(*Kobresia* spp)草甸、高山灌丛草甸、禾草-矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸、矮嵩草草甸、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)草甸,天然草地的原生植被和退化植被及高寒草甸生态系统被人为开发成多年生禾本科人工草地、一年生禾本科人工草地以及经济作物农田,共计67个样地。依据植物功能群数量特征初步确立植被类型(或利用模式),并采集土壤样品测定其理化特征,研究样地概况如表1所示。

表1 研究区域及样地概况  
Table 1 General situation of study area

利用类型 Use type	地点名称 Plots	纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude	海拔/m Elevation
藏嵩草草地 Tibetica meadow	青海省五道梁南开心岭南山坡	34°03.836	92°20.051	4738
	青海省玛多县查拉坪 566 km	34°19.234	97°55.064	4546
	青海省玉树州称多县清水河北	33°51.647	97°12.544	4457
	青海省甘德县上贡玛西 10 km	33°55.193	99°48.197	4185
高寒小嵩草草甸,退化高寒小嵩草草甸 <i>Kobresia pygmaea</i> meadow and degradation	青海省果洛州昌马河南 5 km	33°26.145	99°12.164	4321
	青海省甘德县茨坝东山顶	33°22.375	99°14.999	4320
	青海省玛多县小野马岭	34°36.343	95°59.751	4250
	青海省玉树州称多县珍秦乡南	33°22.526	97°19.639	4255
<i>Kobresia pygmaea</i> meadow	青海省玉树州巴塘机场西	32°51.943	96°55.640	3988
	青海省玉树州治多县 392 km	33°07.697	96°41.692	4370
	青海省治多县立新乡南 1 km	33°24.584	96°10.178	4503
藏嵩草草甸,高寒小嵩草草甸 Tibetica meadow; <i>Kobresia pygmaea</i> meadow	青海省治多县南 5 km	33°49.071	95°43.392	4251
高寒草原、高寒草甸 Alpine grassland, Alpine meadow	青海省曲麻莱县曲马河乡南	34°48.778	94°59.748	4324
	青海省海西州雁石坪北 60 km	33°58.232	92°21.039	4643
高寒草原草甸 Alpine grassland-meadow	西藏安多县南 2 km 大滩	32°12.460	91°40.577	4649
	西藏安多县扎仁乡南 2 km	31°57.265	91°43.743	4643
	西藏班戈县西 10 km	31°36.644	91°43.393	4555
	西藏那曲县城南 40 km	31°09.705	91°45.063	4701
人工草地、高寒草原、农田 Artificial grass-land, alpine grassland, farmland	青海省海南州泽库县西和田乡	35°16.683	101°20.029	3644
	青海省同德县同德牧场	35°15.160	100°41.260	3301

续表 1

利用类型 Use type	地点名称 Plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Elevation
高寒嵩草草甸、人工草地 Alpine meadow, artificial grassland	青海省达日县窝赛乡南 10 km	33°34. 274	99°54. 270	4082
	青海省共和县石乃亥羊场	37°01. 646	99°34. 950	3228
	青海省果洛州大武滩	34°27. 785	100°12. 787	3740
人工草地、农田、高寒嵩草草甸、灌丛草甸 Artificial grassland, farmland, Kobresia meadow, shrub meadow	青海省海北州青海门源种马场	37°33. 837	101°24. 842	3116
	农田、人工草地、高寒草原 Farmland, artificial grassland, alpine grassland	青海省海北州祁连县阿柔乡	38°03. 872	100°26. 295

## 1.2 研究方法

采样时间为 2009 年 7—8 月。土壤样品采用土钻法( $\Phi=7$  cm), 采样层次 0~10 cm, 每 6 钻为 1 个重复。土壤样品风干后去根系, 四分法取 1 份过 0.25 mm 土壤分析筛, 采用总有机碳分析仪(日本岛津 TOC-5000A)测定土壤有机碳含量。土壤容重采用环刀法( $V=100$  cm<sup>3</sup>), 采样深度 0~10 cm。地上生物量采用标准收获法(样方面积为 0.5 m $\times$ 0.5 m)。地上植物盖度采用针刺法(样方面积为 0.5 m $\times$ 0.5 m)。植物根系生物量采用土钻法( $\Phi=7$  cm), 采样层次 0~10 cm, 每 6 钻为 1 个重复, 水洗去泥, 70℃ 称烘干重。土壤和植物样品均 6 个重复<sup>[6,19]</sup>。

## 1.3 数据分析

相关分析采用二元定距法, 回归分析采用逐步回归分析法, 主成分分析采用 PCA 因子分析法, 所

有数据采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤表层有机碳和植物功能群数量特征主成分分析

第一主成分中 0~10 cm 土壤有机质含量、根系生物量、容重、莎草科生物量、总盖度、莎草科盖度等原始因子载荷量大, 它同系统中碳的积累特征有较大关系; 第二主成分中豆科生物量和盖度等原始因子载荷量大, 它同系统中氮的积累有较大关系; 第三主成分由凋落物生物量、杂类草生物量和盖度等原始因子解释, 它同系统中养分转移和转化关系较为密切; 第四主成分中禾本科盖度载荷量较大, 它同系统中放牧反应敏感的指示类群关系密切(表 2)。

表 2 因子载荷及得分矩阵

Table 2 Rotated components matrix and score coefficient matrix

	因子载荷 Components matrix				因子得分 Score			
	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
	The first factor	The second factor	The third factor	The forth factor	The first factor	The second factor	The third factor	The forth factor
有机碳含量 0~10 cm soil organic carbon content	0.775	-0.065	0.020	0.080	0.311	-0.231	0.041	0.014
根量 0~10 cm root biomass	0.696	0.450	0.084	-0.139	0.179	0.136	0.026	-0.204
容重 0~10 cm soil bulk density	-0.554	-0.063	0.248	0.135	-0.203	0.046	0.135	0.145
禾本科生物量 Gramineae biomass	-0.149	-0.251	-0.711	0.132	-0.031	-0.068	-0.403	0.148
莎草生物量 Sedge biomass	0.898	0.164	-0.004	0.038	0.309	-0.105	0.008	-0.051
豆科生物量 Leguminous biomass	0.147	0.901	0.056	0.006	-0.148	0.540	-0.056	-0.106
杂类草生物量 Herb biomass	-0.115	-0.200	0.724	-0.001	0.023	-0.178	0.448	0.020
凋落物生物量 Litter biomass	0.109	-0.003	-0.577	0.016	0.024	0.031	-0.339	0.012
总盖度 Total coverage	0.658	0.320	0.018	0.599	0.142	-0.013	-0.010	0.374
禾本科盖度 Gramineae coverage	-0.042	0.046	-0.036	0.919	-0.091	-0.059	-0.039	0.696
莎草盖度 Sedge coverage	0.819	0.322	0.072	0.193	0.233	-0.009	0.032	0.053
豆科盖度 Leguminous coverage	0.201	0.843	0.035	0.184	-0.127	0.473	-0.063	0.032
杂类草盖度 Herb coverage	0.157	0.287	0.542	0.302	-0.009	0.059	0.293	0.180

注: 主成分分析的原始变量为土壤 0~10 cm 有机碳和容重、0~10 cm 根量、植物群落总盖度、禾本科盖度及生物量、莎草科盖度及生物量、豆科盖度及生物量和杂类草盖度及生物量, 采用主成分分析(PCA), 提取出 4 个主成分因子, 分别为“第一主成分、第二主成分、第三主成分和第四主成分”

Note: The original variables were 0~10 cm soil organic carbon, bulk density, 0~10 cm root biomass, the total coverage of plant communities, Gramineae plant functional group coverage and biomass, sedge plant functional group coverage and biomass, legume plant functional group coverage and biomass and forbs plant functional groups coverage and biomass. Using principal component analysis (PCA) extracted four principal components; they were the first principal component, the second principal component, the third and fourth Principal component respectively

表 3 总方差解释

Table 3 Total variance explained

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalues			旋转平方和载入 Rotation sums of squared loadings		
	合计 Total	方差的 % % of variance	累积 % Cumulative %	合计 Total	方差的 % % of variance	累积 % Cumulative %
	第一主成分 The first factor	4.436	34.120	34.120	3.437	26.440
第二主成分 The second factor	1.832	14.095	48.214	2.152	16.556	42.996
第三主成分 The third factor	1.328	10.213	58.427	1.737	13.358	56.354
第四主成分 The fourth factor	1.160	8.927	67.354	1.430	11.000	67.354

理论上认为进行主成分分析一般提取特征值大于 1 的变量作为主成分,其方差的累积贡献率应高于 80%,由表 3 可知提取特征值高于 1 的 4 个主成分累积方差贡献率不高于 70%。

2.2 0~10 cm 土壤有机碳含量同植物根量和容重的耦合性分析

对土壤 0~10 cm 有机碳和同层地下生物量进行分析,剔除了 49.3%影响其线性分布的样地,主要为农田(油菜田)、人工草地(多年生一年生人工草地)、灌丛。剩余 34 个样地 Pearson 相关系数为 0.794,达显著相关水平( $P < 0.05$ ),多为草原和草甸植被。被筛选出的样地中 64.7%的样地来源于退化草地(退化与原生小嵩草草甸比 65 : 35,退化与原生藏嵩草草甸比 60 : 40,退化草原和未退化草原比 67 : 33)(图 1)。

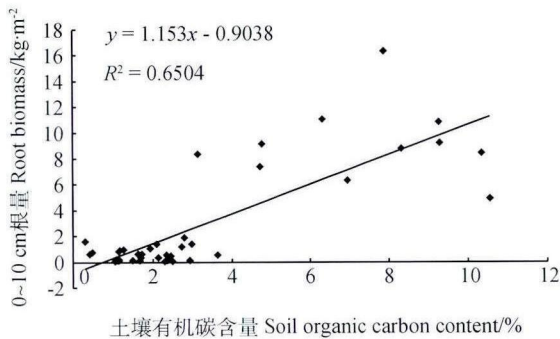


图 1 土壤 0~10 cm 有机碳含量同根量耦合分析  
Fig. 1 Soil organic carbon content coupled with root biomass

对土壤 0~10 cm 有机碳和同层土壤容重之间的分析中剔除了 32 个影响其线性分布的样地,主要为草甸草原退化植被类型及农田和人工草地。剩余样地的 Pearson 相关系数为 -0.758,达到显著相关( $P < 0.05$ )。筛选出的 35 个样地中,77.1%的样地来源于原生草地(原生小嵩草草甸与退化小嵩草草甸

比 79 : 21,原生草原与退化草原比 86 : 14,原生藏嵩草草甸同退化藏嵩草草甸比 100 : 0)(图 2)。

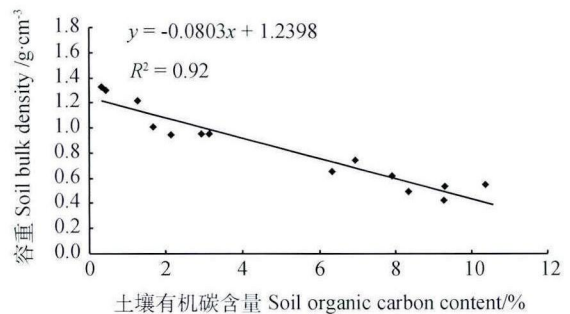


图 2 土壤 0~10 cm 有机碳含量同容重耦合分析  
Fig. 2 Soil organic carbon content coupled with soil bulk density

2.3 土壤有机碳含量同植物功能群生物量特征耦合性分析

对 0~10 cm 土壤有机碳含量和禾本科地上生物量分析中剔除了 47 个影响其线性分布的样地,占全部样地的 70.1%,它们主要为农田(油菜田)、人工草地(多年生一年生人工草地)、灌丛、藏嵩草草地、高山嵩草草地;剩余的 20 个样地,其 Pearson 相关系数为 -0.473,达显著相关( $P < 0.05$ ),其中 55%来源于原生草地(小嵩草草甸原生与退化比 2 : 1,草原和藏嵩草草甸主要来源于原生草地)(图 3)。

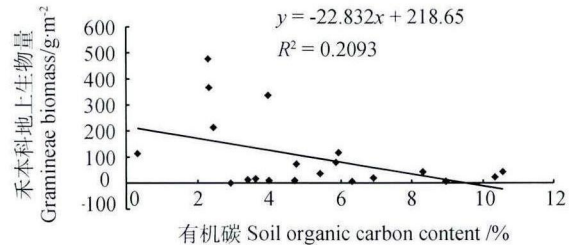


图 3 土壤有机碳含量同禾本科功能群地上生物量耦合性分析

Fig. 3 Soil organic carbon content coupled with gramineae biomass up ground

对土壤 0~10 cm 有机碳和群落中莎草科植物地上生物量耦合的分析剔除了 34 个影响其线性分布的样地,主要为草甸、草原原生植被、农田、人工草地及灌丛,剩余样地的 Pearson 相关系数为 0.919,筛选出的 33 个样地中,84.8%的样地源于草原、草甸(原生小嵩草草甸与退化小嵩草草甸比 27 : 73,原生草原与退化草原比 56 : 44,原生藏嵩草草甸同退化藏嵩草草甸比 43 : 57)(图 4)。

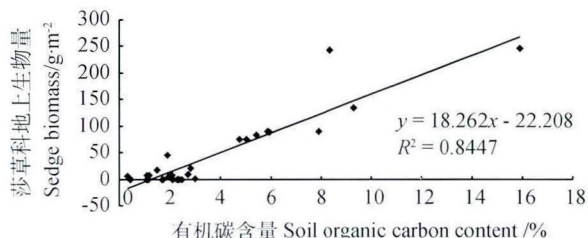


图 4 土壤有机碳含量同莎草科功能群地上生物量耦合性分析

Fig. 4 Soil organic carbon content coupled with sedge biomass up ground

对 0~10 cm 土壤有机碳含量和豆科地上生物量分析剔除了 42 个影响其线性分布的样地。剩余 21 个样地的 Pearson 相关系数为 0.750,达显著相关水平 ( $P < 0.05$ ),52%来源于高寒退化草甸和草原(原生小嵩草草甸与退化小嵩草草甸比 25 : 75,原生草原与退化草原比 43 : 57,原生藏嵩草草甸同退化藏嵩草草甸比 40 : 60)(图 5)。

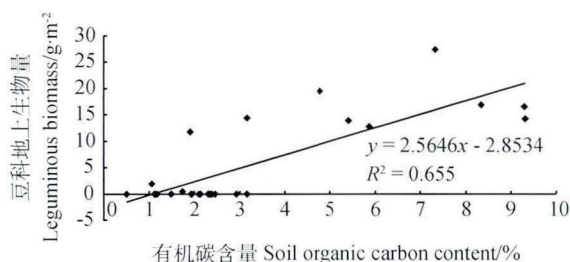


图 5 土壤有机碳含量同豆科功能群地上生物量耦合性分析

Fig. 5 Soil organic carbon content coupled with leguminous biomass up ground

对土壤 0~10 cm 有机碳和杂类草植物地上生物量耦合的分析剔除了 38 个影响其线性分布的样地后,其余样地 Pearson 相关系数为 -0.256,达到显著相关水平 ( $P < 0.05$ ),筛选出的 29 个样地中,86.2%的样地源于草原、草甸(原生小嵩草草甸与退化小嵩草草甸比 72 : 28,原生草原,原生藏嵩草草甸同退化藏嵩草草甸比 40 : 60),6%来源于农田(图 6)。

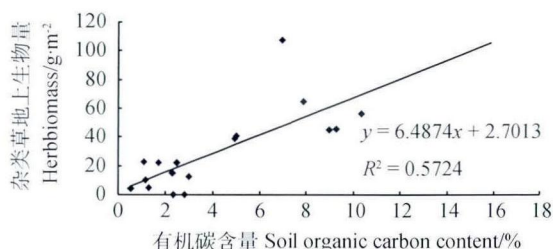


图 6 土壤有机碳含量同杂类草功能群地上生物量耦合性分析

Fig. 6 Soil organic carbon content coupled with herb biomass up ground

### 2.4 土壤有机碳含量同植物功能群盖度特征耦合性分析

绝大多数样地的植物群落总盖度同有机碳含量具有极显著的相关性 ( $P < 0.01$ ),逐步回归分析剔除的样地数不足 15%。筛选出的样地中灌丛只有 50%样地土壤有机碳含量同总盖度存在明显的相关性,其他土地利用模式二者之间显著相关的样地均达到 83%以上(图 7)。

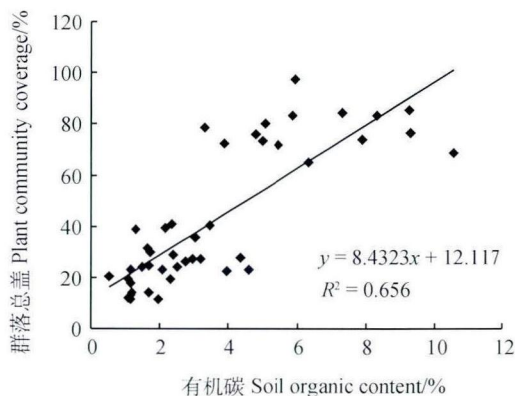


图 7 土壤有机碳含量同植物群落总盖度耦合性分析

Fig. 7 Soil organic carbon content coupled with plant community total coverage

分别对土壤 0~10 cm 有机碳和群落中禾本科、莎草科、豆科和杂类草盖度进行分析筛选出的样地数分别占总样地的 31.3%,23.9%,23.9%和 28.4%。将筛选出样地的 0~10 cm 土壤有机碳含量同禾本科、莎草科、豆科、杂类草盖度的相关分析发现,57.1%的退化草地土壤有机碳含量容易同禾本科植物成正相关关系,68.7%退化草地土壤有机碳含量同莎草科盖度成正相关关系,50.0%退化草地土壤有机碳含量同豆科盖度成正相关关系,57.9%原生草地土壤有机碳含量同杂类草盖度成正相关关系(图 8)。

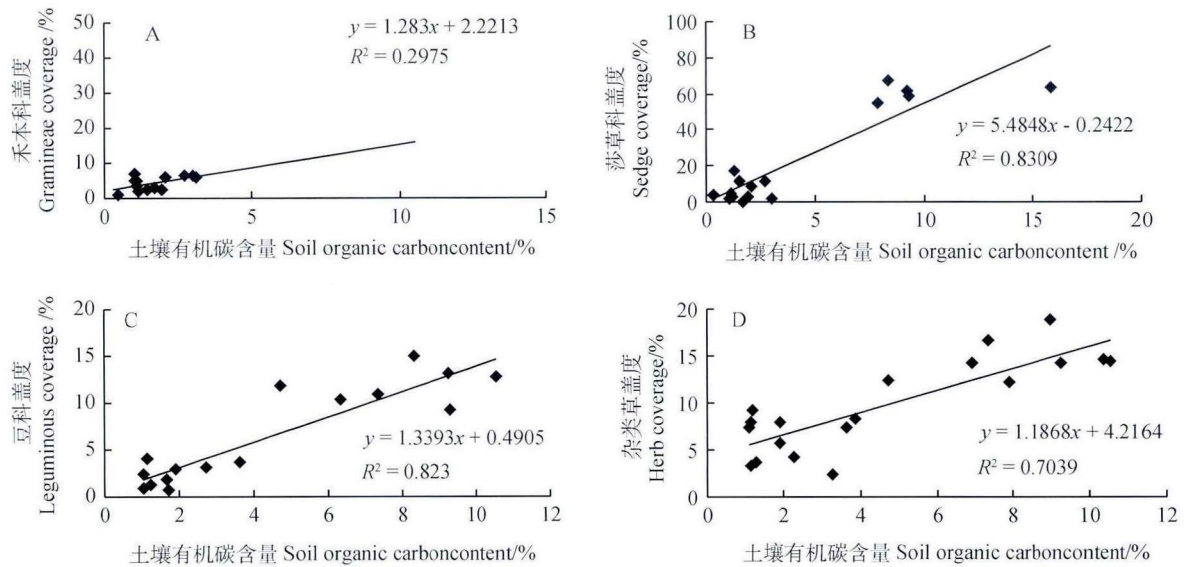


图 8 土壤有机碳含量植物功能群盖度耦合性分析

Fig. 8 Soil organic carbon content coupled with plant functional groups coverage

注: A: 土壤有机碳含量禾本科功能群盖度耦合性分析; B: 土壤有机碳含量同莎草科功能群盖度耦合性分析;

C: 土壤有机碳含量同豆科功能群盖度耦合性分析; D: 土壤有机碳含量同杂类草功能群盖度耦合性分析

Note: A: Soil organic carbon content coupled with gramineae coverage; B: Soil organic carbon content coupled with sedge coverage;

C: Soil organic carbon content coupled with leguminous coverage; D: Soil organic carbon content coupled with herb coverage

### 3 讨论

#### 3.1 土壤有机碳含量同植物功能群数量特征相关关系的机理

不同土地利用模式的高寒草甸或草原生态系统 12 个生态指标中土壤有机碳含量、根量、总盖度、莎草科植物群落特征对样地变异的解释率最高,且有一定程度的关联性,但这种关联性受到土地利用模式和生态系统演替阶段或健康状况的影响。究其原因草地生态系统土壤有机碳变异是植物群落特征和土壤养分协同变异的结果。土壤有机碳的形成同时受到氮素的积累<sup>[19-20]</sup>、养分循环转化<sup>[17]</sup>、植物群落优势种及对放牧干扰的敏感程度<sup>[2,7]</sup>以及人类的利用类型及利用年限<sup>[7]</sup>的影响,自然生态系统中人为对土壤的扰动较少,有机碳的积累过程容易同土壤中的植物量、地上植被优势种数量特征<sup>[21]</sup>呈现一定程度的正相关性;而人工生态系统有机碳的积累过程同土壤有机碳的原始积累程度及利用年限、利用方式关系密切,因此不容易同植物群落数量特征成相关关系。气候在很大程度上决定了植被的类型或产量和植物残体的分解过程,是土壤有机碳积累的重要控制因子<sup>[22-23]</sup>,受研究范围的局限,对影响土壤有机碳含量的其他因素如气候因素(温度、水分、大气 CO<sub>2</sub> 浓度等)<sup>[13-14]</sup>、生物因素(动物、植物、微生物

等)、土壤质地结构和土壤理化性质等<sup>[15-16]</sup>的研究只有部分涉及,导致这 12 个生态因子对草地生态系统的总变异度的解释率为 67.4%。因此仍有 33.6%的样地变异还有待于进一步研究。

#### 3.2 不同土地利用格局中植物功能群对土壤有机碳积累的贡献

禾本科植物是以禾本科植物为优势种的草原或草甸草原植被土壤有机碳积累的重要贡献者<sup>[3]</sup>。禾本科植物具有较强的繁殖能力,该类植物在放牧较轻的条件下可以同时无性和有性繁殖,禾本科植物成株较高,容易占据上层最大生态位,进而对土壤有机碳具有相对较高的贡献能力。

莎草科植物在嵩草草甸退化过程中易同土壤有机碳含量成正相关关系,因为在草地过度放牧条件下,禾本科和莎草科植物同为家畜喜食,但禾本科位于较高片层易受到家畜采食,限制了其生长,莎草科植物位于下片层(如小嵩草、矮嵩草),加之其具有较强的耐践踏能力,使得其容易成为禾本科受控(放牧过度采食)后群落的优势种<sup>[2,18]</sup>,因此在过度放牧下莎草科植物的数量特征容易同土壤有机碳积累特征成正相关关系。

豆科植物在退化型草地中较易同有机碳的积累形成正相关关系。因为豆科植物具有固氮功能,属于较耐贫瘠的功能群之一,其固氮能力是草地养分

循环和积累的的重要因素之一,从生态化学计量特征的角度看,高寒嵩草甸退化容易造成氮素的相对缺乏<sup>[19-20]</sup>,而豆科植物中不可食草可以有效的改善草地的营养状况。

### 3.3 不同草甸健康状况下土壤有机碳含量与植物功能群数量特征关联性机制

健康草地生态系统容易同放牧顶级群落优势种植物数量特征成一定的耦合关系。高寒草地生态系统植物群落演替具有明显的递进性和渐变性,在草地进展演替过程中,草地的土壤养分特征和植被演替是协同演化的,禾本科和莎草科植物一般是高寒草甸生态系统的优势种和亚优势种,在降雨相对充沛而气温较低条件下,土壤有机碳逐渐被积累<sup>[24]</sup>,因而出现土壤有机碳含量同其群落优势种数量特征之间的显著相关关系。人为作用能大大削弱自然因子对土壤有机碳含量的影响<sup>[24]</sup>,导致自然生态系统植物群落数量特征较人为生态系统对土壤有机碳含量的积累过程贡献更大。

退化草地土壤有机碳含量容易同碳、氮的积累能力和可食性牧草的生长特性呈现耦合关系。放牧干扰条件下退化高寒草甸生态系统,优良可食性牧草(禾本科和莎草科植物)生产量是畜牧业生产的基础,长期不合理的放牧干扰将改变植物的生存策略(改变植物的繁殖策略、光合产物在地上地下的分配策略等),进而改变土壤中碳素的积累或释放速率<sup>[7]</sup>。过度放牧引起的草地退化容易引起氮磷比例失衡,氮素相对缺乏<sup>[19-20]</sup>,豆科植物(尤其是不可食豆科植物)出现是生态系统应对氮素缺乏而采取的反馈策略,因此在退化草地中豆科植物的生物量和盖度对有机碳积累起到重要作用<sup>[1,3,19-21]</sup>。

## 4 结论

土壤有机碳同植物群落总盖度之间存在较好的耦合性。土壤有机碳含量受制于土地的利用模式、利用强度和利用历史等因素的影响;人工草地生态系统和农田有机碳含量同地上植物功能群特征很难建立明显的耦合关系;健康草地生态系统容易同放牧顶级群落优势种植物数量特征形成相关关系;退化草地生态系统容易同氮素积累能力有关的植物功能群形成相关关系。

### 参考文献

[1] 龙瑞军,董世魁,胡自治. 西部草地退化的原因分析与生态恢

复措施探讨[J]. 草原与草坪,2005,12(20):3-7

- [2] 林丽,曹广民,赵成章,等. 祁连山东段退化草地优势种抗牧性响应[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(5):218-222
- [3] 陈佐忠,汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京:科学出版社,2000:125-142
- [4] 吴艳玲. 短花针茅草原群落特征与空间异质性对放牧强度季节调控的响应[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2012,6:6-10
- [5] 付华,王彦荣,吴彩霞,等. 放牧对阿拉善荒漠草地土壤性状的影响[J]. 中国沙漠,2002,22(4):339-343
- [6] 林丽,曹广民,李以康,等. 人类活动对青藏高原高寒矮嵩草草甸碳过程的影响[J]. 生态学报,2010,30(15):4012-4018
- [7] 曹广民. 青藏高原高寒嵩草草甸退化的土壤-生物过程与机制[D]. 兰州:甘肃农业大学,2010:28-24
- [8] 李婧,杜若功,张法伟,等. 草毡表层演化对高寒草甸水源涵养功能的影响[J]. 草地学报,2012,20(5):836-841
- [9] 高英志,韩兴国,汪诗平. 放牧对草原土壤的影响[J]. 生态学报,2004,(4):790-797
- [10] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998:30-42
- [11] 戴万宏,黄耀,武丽,等. 中国地带性土壤有机质含量与酸碱度的关系[J]. 土壤学报,2009,46(5):851-860
- [12] West D C, Shugart H H, Botkin D B. Forest Succession. Concepts and application [M]. New York:Springer-Verlag,1981:23-30
- [13] Davidson E A, Trumbore S E, Amundson R. Soil warming and organic carbon content [J]. Nature,2000,408(14):789-790
- [14] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:23-43
- [15] Hook P B, Burke I C. Biogeochemistry in a shortgrass landscape: Control by topography, soil texture, and microclimate [J]. Ecology,2000,81(10):2686-2703
- [16] Kelly R H, Parton W J, Crocker G J, et al. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the century model - Original Research Article [J]. Geoderma,1997,81(1/2):75-90
- [17] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. 中国农业科学,1997,30(6):1-9
- [18] 张蕴薇,韩建国,李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):74-78
- [19] 林丽,李以康,张法伟,等. 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2013,33(17):5245-5251
- [20] 林丽,张法伟,李以康,等. 高寒矮嵩草草甸退化过程土壤碳氮储量及 C/N 化学计量学特征[J]. 中国草地学报,2012,34(3):42-47
- [21] 林丽,李以康,张法伟,等. 人类活动对高寒矮嵩草草甸的碳管理分析[J]. 中国草地学报,2013,22(1):308-314
- [22] Alvarez R, Lavado R S. Climate, organic matter and clay content relationships in Pampa and Chaco soils. Argentina [J]. Geoderma,1998,83(1/2):127-141
- [23] Ganuza A, Almendros G. Organic carbon storage in soil of the Baque country (Spain): The effect of climate, vegetation type and edaphic variables [J]. Biology and fertility of soils,2003,37(3):154-162
- [24] 赵明松,张甘霖,李德成,等. 江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素[J]. 生态学报,2013,33(16):5058-5066

(责任编辑 吴雅娜)