

DOI: 10.5846/stxb201811252555

孙飞达, 李飞, 陈文业, 朱灿, 周俗, 苟文龙, 刘琳, 周冀琼. 若尔盖退化高寒湿地土壤理化性质、酶活性及微生物群落季节动态. 生态学报, 2020, 40(7): 2396-2406.

Sun F D, Li F, Chen W Y, Zhu C, Zhou S, Gou W L, Liu L, Zhou J Q. Seasonal dynamics of soil physicochemical properties, enzyme activity and microbial community of rodents-damaged alpine wetlands by plateau zoker (*Myospalax baileyi*) in Zogie, southwest China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(7): 2396-2406.

若尔盖退化高寒湿地土壤理化性质、酶活性及微生物群落季节动态

孙飞达^{1,*}, 李飞¹, 陈文业², 朱灿¹, 周俗³, 苟文龙³, 刘琳¹, 周冀琼¹

1 四川农业大学动物科技学院, 成都 611130

2 甘肃省林业科学研究院, 兰州 730020

3 四川省草原科学研究院, 成都 611731

摘要:以若尔盖退化高寒湿地为研究对象, 连续 3 年(2015—2017 年)于植被返青期(4—5 月)、草盛期(7—8 月)和枯黄期(10—11 月)监测高原鼢鼠丘密度、3 个土层(0—10、10—20、20—30 cm)土壤理化性质、酶活性及微生物数量的季节动态, 并分析土壤生物学特征与土壤环境间的季节相关性。结果表明:(1)各植被物候期, 土壤 pH 值、容重指标均随土层加深而显著升高($P < 0.05$), 土壤含水量、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、酶活性及微生物数量指标均随土层加深而显著降低($P < 0.05$); (2)植被物候期对高寒鼠荒地非土丘土壤养分在不同土层的垂直分配有显著影响, 对 0—10 cm 土层土壤生物学特征含量的影响程度显著大于 10—20 cm 和 20—30 cm 土层。(3)冗余分析(RDA)表明 3 个植被物候期, 土壤生物学特征指标与土壤理化性质指标间显著相关($P < 0.05$), 主成分分析(PCA)表明各指标在不同土层均呈现明显的季节性分布, 数量特征表现为: 枯黄期 > 返青期 > 草盛期。揭示了高寒鼠荒地高原鼢鼠季节性活动对土壤理化性质、酶活性及微生物数量的影响, 为今后青藏高原鼠荒地的分级恢复治理提供理论依据。

关键词:高原鼢鼠; 土壤理化性质; 土壤酶活性; 土壤微生物数量; 季节动态

Seasonal dynamics of soil physicochemical properties, enzyme activity and microbial community of rodents-damaged alpine wetlands by plateau zoker (*Myospalax baileyi*) in Zogie, southwest China

SUN Feida^{1,*}, LI Fei¹, CHEN Wenyue², ZHU Can¹, ZHOU Su³, GOU Wenlong³, LIU Lin¹, ZHOU Jiqiong¹

1 College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

2 Gansu Research Academy of Forestry Science and Technology, Lanzhou 730020, China

3 Sichuan Grassland Science Academy, Chengdu 611731, China

Abstract: Plateau zoker (*Myospalax baileyi*) is a special subterranean rodent in the Qinghai-Tibet plateau, which built very complex burrow system to live and breed and made a lot of aboveground mounds on the alpine rangeland ecosystem. The mounds not only have a negative impact on edible pasture yield and rangeland landscape but also affect soil physicochemical properties and biological characteristics seriously. At present, there have been many studies of the vertical soil properties on plateau zoker mounds at different soil depths, but little knowledge on surrounding areas that not covered by the heaped mounds. Selecting rodents-damaged alpine rangeland as the study object, the seasonal dynamics of the density of plateau

基金项目: 四川省留学回国人员资助项目(03109148); 四川省教育厅重点项目(17ZA0320)

收稿日期: 2018-11-25; 网络出版日期: 2019-12-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunfd08@163.com

zokor mounds, the physical and chemical properties of three soil layers (at 0—10 cm, 10—20 cm, and 20—30 cm deep), the enzyme activities, and the thmicrobial population were closely monitored. While the seasonal correlation between the soil biological characteristics and the soil environmental conditions were analyzed from 2015 to 2017, in particular during the plant greenup period (GP) which normally takes place between April and May, the vigorous growth period (VGP) which occurs between July and August, and the withered period (WP) which occurs between October and November. The results indicated that: (1) The vegetation phenological phase, soil pH, and soil bulk density indices have shown a statistically significant increase with soil depth at the 0.05 level, whereas the decrease in soil water content, soil organic matter, total nitrogen, soil alkaline nitrogen, available phosphorus, available potassium, enzyme activity, and microbial quantity were statistically significant with the deepening of the soil layer at the 0.05 level of significance. (2) The vegetation phenological phase had a significant effect on the vertical distribution of soil nutrients at different soil layers, whereas the surrounding area that was not covered with the mounds by rodents activities. The impact of soil biological characteristics on the 10—20 cm soil layer was significantly greater than those of the 20—30 cm soil layer. (3) Redundancy analysis (RDA) showed that correlations between soil biological characteristics and soil environmental conditions, within three vegetation phenological phases, were statistically significant at the 0.05 level. Principal component analysis (PCA) showed that all indicators showed an obvious seasonal distribution trend. Moreover, the quantitative characteristics at different soil layers were as follows: WP > GP > VGP. This study reveals the effects of the seasonal activities of plateau zokor on the soil physicochemical properties, enzyme activities, and microbial population of the rodents-damaged alpine rangeland, and hope to provide a theoretical basis for the classification and restoration of the wetland degradation on the Qinghai-Tibet Plateau.

Key Words: plateau zokor; soil physicochemical properties; soil microbial community; seasonal dynamics; soil enzyme activity

若尔盖地处青藏高原东缘,是长江、黄河的重要水源地区,也是典型的生态脆弱区和气候变化警示区,天然草地面积为 $8.08 \times 10^5 \text{ hm}^2$,其中可利用草地面积占 80%以上,畜牧业产值约占全县农业总产值的 95%^[1-2]。由于自然和人为双重因素使若尔盖地区草地生产力急速下降、鼠害频发,并在局部地区形成了严重退化的鼠荒地。草原鼠荒地(Rodent Damaged Rangeland)是草地退化的一种表现形式,通常是在草地逆向演替进程中,产生了适宜于啮齿类动物栖息生活的小环境,鼠类的入侵、啃食、掘洞、刈割、贮草行为进而引起草原退化加剧的一类退化草地,主要有沙化型鼠荒地、沼泽退化型鼠荒地等类型^[3]。鼠荒地上优质牧草比例大幅降低,草地生产、生活功能受到严重影响,生态服务价值和服务水平也明显降低,土壤裸露、植被稀少、鼠类入侵使得草地土壤的理化性质和生物学特征发生改变^[4-5]。草地“三生功能”衰退不仅影响当地的社会经济发展,甚至对下游川西平原、川中丘陵地区产生了深远的影响^[6]。

高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)是若尔盖地区主要害鼠之一,主要分布在高寒草甸生态系统,常常栖息于土质疏松、植被退化、杂类草丰富的斑块地,主要采食粗蛋白和水溶性糖含量高、粗纤维含量低的杂类草^[7-9]。高原鼯鼠掘土造丘过程中,大量下层土壤被翻至地面形成土丘,土丘数量往往能指示该区域高原鼯鼠种群大小,植被返青期 5 月和枯黄期 10 月新土丘与高原鼯鼠种群数量呈显著正相关,利用新土丘密度来预测高原鼯鼠的种群密度最为准确^[10-11]。高原鼯鼠被誉为“生态系统的工程师”,种群密度维持在较低密度时,作为生态系统的重要组成部分,能够维持草原生态系统的平衡和稳定^[12-14]。高原鼯鼠挖掘形成的洞穴系统和采食行为通过影响土壤理化性质、酶活性以及微生物群落,进而对草地植被群落的组成和产草量造成影响,一定程度上有利于退化草地的植被恢复重建^[15-17]。但高原鼯鼠密度一旦超过阈值会引起草地急速退化,随着土丘密度增加,草地植物群落优势种迅速由莎草科和禾本科转变为杂类草,地上、地下生物量显著降低,土壤有机质、全氮、速效氮和速效磷等养分含量显著降低,土壤酶活性和微生物群落随土壤养分变化而变化^[18-20]。

目前研究集中在不同退化演替阶段高原鼯鼠活动对草地植被群落、土丘土壤理化性质的影响,多采用空

间代替时间序列的方法,对于高原鼢鼠鼠荒地非土丘土壤理化性质、酶活性及微生物群落的季节动态研究尚鲜见报道^[21]。本研究于 2015—2017 三年间连续监测严重退化高原鼢鼠鼠荒地上鼠丘数量、不同土层深度土壤理化性质及土壤生物学特征的季节动态并分析其相关性,以期能揭示不同植被物候期,高原鼢鼠活动对鼠荒地草地植被-土壤-微生物生态系统的影响。

1 试验地概况

试验地位于若尔盖县麦溪乡,地理位置 33°56′—33°58′N,102°11′—102°18′E 之间,海拔 3439 m,距若尔盖县城约 97 km,临近甘肃省玛曲县,2015 年至 2017 年各月均温及月降水量如图 1(布瑞克农业气象数据库),相对湿度约为 70%,年均日照时数约为 2000 h,全乡天然草原面积 7.25×10⁴ hm²,是一个以畜牧业为主要支柱产业的纯牧业乡。

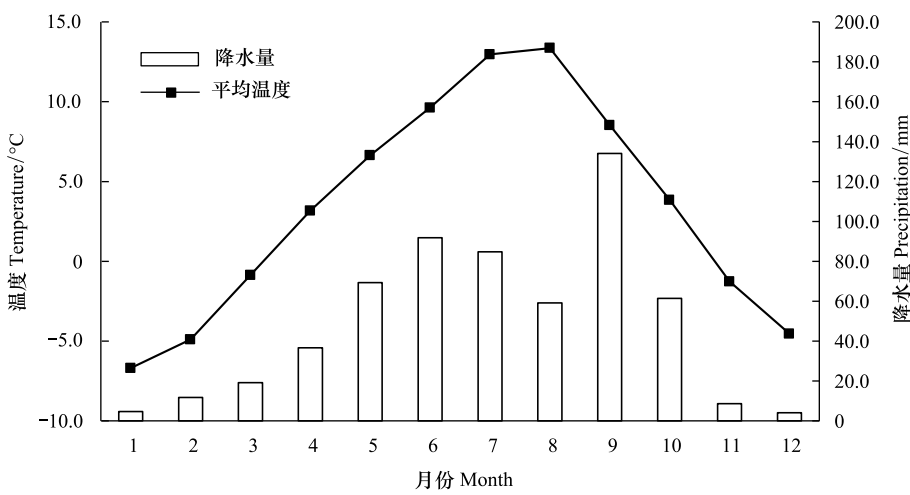


图 1 若尔盖地区三年间(2015—2017)月均温和月降水量的平均值
Fig.1 Average of monthly mean temperature and monthly precipitation in Zoige from 2015—2017

试验地面积约 100 hm²,20 世纪 50 年代曾为高寒沼泽湿地区,由于历史上排水垦田的政策失配,此区域逐渐干涸,再加上长期的超载过牧,草场退化严重,鼠害加剧,从 2010 年以来,该区域设为禁牧区并长年围封。试验地内高原鼢鼠为唯一造丘鼠类且种群密度较高,未见高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)及其他鼠类活动踪迹,根据刘荣堂等^[22]对高原鼢鼠危害等级的划分属于高原鼢鼠重度危害地区,鼠丘密度变化如表 1。植被以西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、四川嵩草(*Kobresia setchwanensis*)为主,植被盖度和草层高度均较低。

表 1 高寒鼠荒地不同植被物候期高原鼢鼠土丘密度变化情况

土丘密度 Mound density/(个/hm ²)	植被物候期 Vegetation phenological phase		
	返青期 Greenup period	草盛期 Vigorous growth period	枯黄期 Withered period
新土丘 New mound	143 ± 39ab	116 ± 28b	187 ± 39a
旧土丘 Old mound	1929 ± 209b	1892 ± 208b	2947 ± 538a
总土丘 Total mound	2073 ± 238b	2008 ± 209b	3134 ± 572a

不同小写字母表示植被物候期间差异显著($P<0.05$)

2 研究方法

2.1 试验设计

自 2015 年起连续三年于每年草地返青期(5—6 月)、草盛期(7—8 月)、枯黄期(10—11 月)在试验地采用鼠丘计数法选择 9 个半径 28.2 m 的样地(样地间距离 50 m 以上)进行鼠丘数量统计(新旧土丘分别计数)及土壤取样^[23-24]。土壤采样使用土钻沿一条直线在临近土丘(非土丘区域)分别钻取 0—10、10—20、20—30 cm 土层土壤,5 次重复,各土层土壤混合后,一部分带回实验室自然风干后研磨过筛用于测定土壤化学性质及酶活性,一部分用冰盒保存带回实验室迅速进行微生物指标测定。

2.2 指标测定

土壤样品测定方法参照《土壤农业化学分析方法》和《土壤微生物研究原理与方法》^[25],土壤 pH 值采用酸度计法,容重采用环刀法,有机质采用高温外热重铬酸钾氧化法,全氮采用凯式定氮法,碱解氮采用碱解扩散法,有效磷采用钼锑抗比色法,速效钾采用火焰光度法;脲酶采用苯酚钠-次氯酸钠比色法,碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法;微生物数量采用稀释平板计数法。

2.3 数据分析

应用 Excel 2010、SPSS 19.0 和 Canoco 4.5 进行数据统计整理及分析作图。高原鼯鼠鼠丘密度、土壤理化性质及生物学特征指标均采用单因素 Anova 分析,数据表示为平均值±标准差,多重比较采用 Duncan 法;使用多因素方差分析进行物候期和土层深度对土壤酶活性和微生物数量影响的统计分析;土壤生物学特征(土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、细菌、真菌、放线菌、微生物总量)共 7 个指标指标作为 Canoco 软件中的 species 部分,高原鼯鼠土丘密度(新土丘、旧土丘和总土丘密度)、土壤理化性质(pH 值、含水量、容重、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、碳氮比)共 12 个指标作为 Canoco 软件中的 environment 部分进行冗余分析(Redundancy analysis, RDA)和主成分(Principal component analysis, PCA)分析并采用 Cano Drw 4 作图。

3 结果与分析

3.1 土壤理化性质

不同土层深度土壤理化性质差异明显(表 2)。随着土层深度增加,高寒鼠荒地各植被物候期土壤 pH 值、容重均显著升高($P<0.05$),土壤含水量、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾均显著降低($P<0.05$);各植被物候期土壤碳氮比 20—30 cm 土层均显著大于 10—20 cm 土层($P<0.05$),0—10 cm 土层在返青期和草盛期显著小于 20—30 cm 土层($P<0.05$),枯黄期则显著大于 20—30 cm 土层($P<0.05$)。高寒鼠荒地不同植被物候期土壤理化性质呈现一定规律(表 2)。从植被返青期至枯黄期,各土层土壤 pH 值均呈先降低后升高趋势,枯黄期各土层土壤 pH 值均显著高于草盛期和返青期($P<0.05$);枯黄期各土层土壤容重均显著大于草盛期和返青期($P<0.05$);0—10 cm 土层土壤有机质枯黄期显著大于草盛期和返青期($P<0.05$),而 10—20 cm 和 20—30 cm 土层却显著小于草盛期和返青期($P<0.05$);返青期鼠荒地 0—10、10—20、20—30 cm 土层分别占总有机质的 46%、28%和 26%,草盛期分别占到 39%、34%和 27%,枯黄期分别占到 51%、29%、20%(图 2);全氮、碱解氮、碳氮比、有效磷、速效钾也呈现类似的规律。

3.2 土壤酶活性及微生物数量

不同土层深度对高寒鼠荒地土壤酶活性和微生物数量指标均有显著影响($P<0.05$),不同植被物候期对土壤酶活性和土壤微生物数量指标(除真菌外)也有显著影响($P<0.05$),土层深度和植被物候期交互作用对脲酶、碱性磷酸酶、放线菌和微生物总数指标有显著影响($P<0.05$)(表 3)。表明土层深度和植被物候期变化均对土壤酶活性和微生物数量指标产生影响,且有明显的交互效应。

随着土层深度增加,高寒鼠荒地各植被物候期土壤脲酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶指标含量均显著降低($P<0.05$)。从返青期至枯黄期,各土层脲酶、蔗糖酶指标含量逐渐升高,草盛期和枯黄期显著高于返青期($P<$

0.05);0—10 cm 和 10—20 cm 土层碱性磷酸酶指标含量逐渐升高,枯黄期显著高于草盛期和返青期,20—30 cm 各物候期间差异不显著($P<0.05$)(图 3)。

表 2 高寒鼠荒地不同植被物候期 and 不同土层深度土壤的理化性质

Table 2 Soil physicochemical properties within three soil depths at different vegetation phenological phase in rodent-damaged alpine rangeland

土壤理化性质 Soil physicochemical properties	土层/cm Soil depth	植被物候期 Vegetation phenological phase		
		返青季 Greenup period	生长季 Vigorous growth period	枯黄季 Withered period
pH	0—10	8.49 ± 0.19Ba	8.21 ± 0.10Bb	8.63 ± 0.10Ba
	10—20	8.65 ± 0.25Bb	8.27 ± 0.11Bc	9.03 ± 0.40ABa
	20—30	8.94 ± 0.17Ab	8.42 ± 0.13Ac	9.36 ± 0.53Aa
容重/(g/cm ³) Soil bulk density	0—10	0.93 ± 0.06Bb	1.02 ± 0.07Aa	0.99 ± 0.06Bab
	10—20	0.96 ± 0.09Bb	1.03 ± 0.06Ab	1.16 ± 0.09Aa
	20—30	1.06 ± 0.05Ab	1.09 ± 0.07Ab	1.21 ± 0.14Aa
含水量/% Soil water content	0—10	33.67% ± 2.88% Aa	27.83% ± 12.02% Aa	26.50% ± 10.71% Aa
	10—20	25.00% ± 6.26% Ba	29.00% ± 12.95% Aa	27.50% ± 15.96% Aa
	20—30	19.00% ± 3.22% Ca	19.17% ± 3.66% Ba	20.00% ± 9.23% Ba
有机质/(g/kg) Soil organic matter	0—10	73.29 ± 5.38Aa	56.98 ± 2.02Ab	78.96 ± 7.11Aa
	10—20	44.55 ± 4.04Ba	50.82 ± 1.93Ba	44.29 ± 8.53Ba
	20—30	42.65 ± 2.72Ba	39.26 ± 4.06Ca	31.83 ± 3.58Cb
全氮/(mg/kg) Total nitrogen	0—10	2767.64 ± 37.47Aa	2687.34 ± 91.84Ab	2805.95 ± 36.25Aa
	10—20	2088.13 ± 30.35Ba	2097.20 ± 90.47Ba	1950.45 ± 48.65Bb
	20—30	1397.15 ± 49.47Ca	1447.53 ± 40.53Ca	1382.84 ± 83.61Ca
碳氮比 Carbon :Nitrogen ratio	0—10	15.36 ± 1.07Ba	12.31 ± 0.62Cb	16.34 ± 1.65Aa
	10—20	12.38 ± 1.13Ca	14.07 ± 0.62Ba	13.14 ± 2.30Ba
	20—30	17.70 ± 0.68Aa	15.72 ± 1.41Ab	13.34 ± 1.10Bc
碱解氮/(mg/kg) Available nitrogen	0—10	258.84 ± 5.56Ab	252.41 ± 5.79Ab	285.02 ± 5.65Aa
	10—20	167.85 ± 5.64Ba	172.15 ± 9.34Ba	155.52 ± 6.91Bb
	20—30	120.01 ± 4.80Ca	122.32 ± 12.03Ca	104.02 ± 9.04Cb
有效磷/(mg/kg) Available phosphorus	0—10	7.64 ± 0.50Ab	7.36 ± 0.78Ab	8.50 ± 0.17Aa
	10—20	4.90 ± 0.41Ba	5.08 ± 0.65Ba	5.29 ± 1.07Ba
	20—30	3.23 ± 0.47Ca	2.97 ± 0.45Ca	2.92 ± 0.43Ca
速效钾/(mg/kg) Available potassium	0—10	32.69 ± 1.93Aa	31.45 ± 1.59Aa	33.05 ± 2.21Aa
	10—20	20.45 ± 1.21Bb	21.98 ± 0.67Ba	20.29 ± 0.23Bb
	20—30	15.54 ± 0.81Ca	15.33 ± 0.68Ca	15.96 ± 0.52Ca

不同大写字母表示不同土层间差异显著,不同小写字母表示月份间差异显著($P<0.05$)

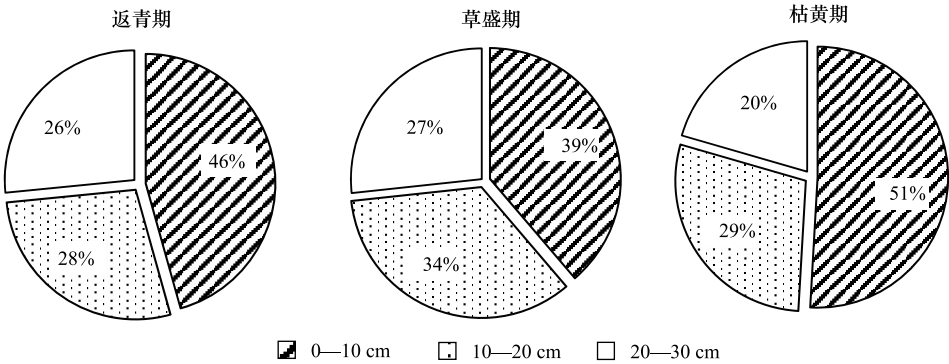


图 2 高寒鼠荒地不同物候期土壤有机质在不同土层的分配比例

Fig.2 Distribution ratio of soil organic maters within three soil depths at different vegetation phenological phase in rodent-damaged alpine rangeland

表 3 高寒鼠荒地不同草地物候期和不同土层土壤生物学特征的方差分析

Table 3 Variance analysis of soil biological characteristics factors within three soil depths at different vegetation phenological phase in rodent-damaged alpine rangeland

指标 Items	土层深度 Soil depth(D)		植被物候期 Vegetation phenological phase(V)		土层深度×月份 D×V	
	F	P	F	P	F	P
脲酶 Urease	153.716	<0.001	115.692	<0.001	10.556	<0.001
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	236.060	<0.001	17.662	<0.001	2.992	0.028
蔗糖酶 Invertase	151.691	<0.001	21.028	<0.001	0.871	0.489
细菌 Bacteria	139.207	<0.001	10.526	<0.001	2.315	0.072
真菌 Fungi	189.764	<0.001	1.455	0.244	0.182	0.947
放线菌 Actinomycetes	394.369	<0.001	15.982	<0.001	5.177	0.002
微生物总数 Total microorganism	294.650	<0.001	22.240	<0.001	3.901	0.008

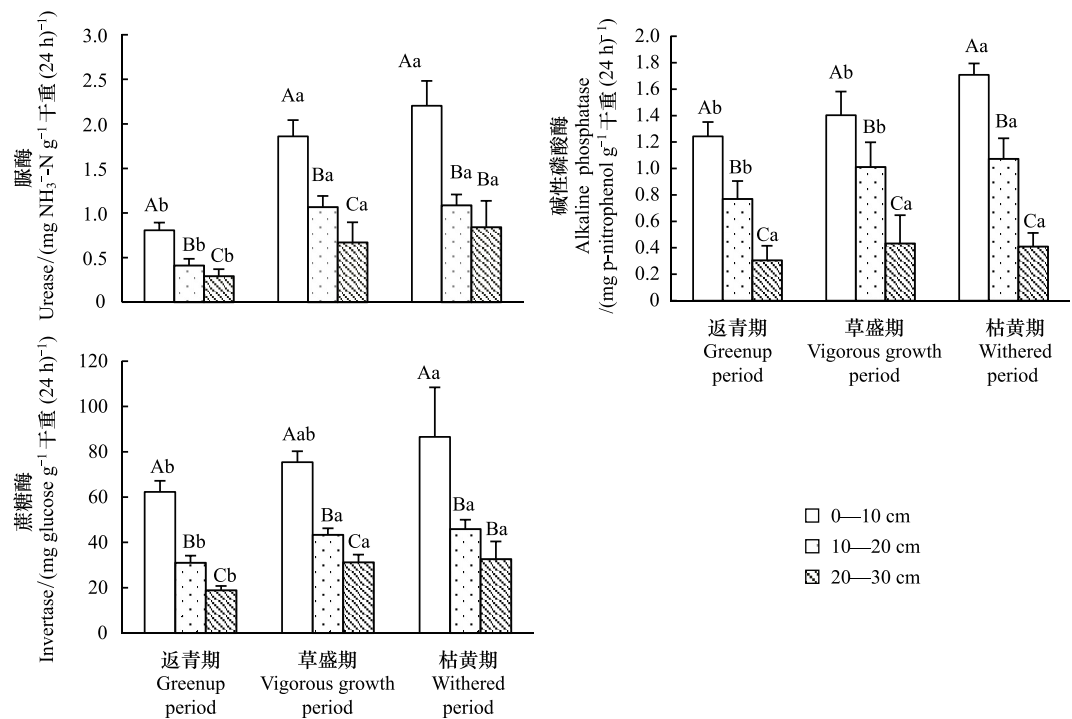


图 3 高寒鼠荒地不同植被物候期和不同土壤深度下土壤酶活性含量的季节变化

Fig.3 Seasonal dynamics of soil enzyme activities within three soil depths at different vegetation phenological phase in rodent-damaged alpine rangeland

高寒鼠荒地土壤细菌、真菌、放线菌及微生物总数含量均随着土层深度增加显著降低 ($P<0.05$)。从植被返青期至枯黄期,0—10 cm 和 10—20 cm 土层细菌含量逐渐升高,枯黄期显著高于草盛期和返青期 ($P<0.05$),20—30 cm 土层植被草盛期显著低于返青期和枯黄期 ($P<0.05$);0—10 cm 和 10—20 cm 土层真菌含量差异不显著 ($P<0.05$),20—30 cm 土层草盛期显著高于于返青期和枯黄期;放线菌含量除 0—10 cm 土层植被返青期显著低于草盛期和枯黄期 ($P<0.05$),其他土层各植被物候期间差异不显著 ($P<0.05$);微生物总数含量逐渐升高,植被返青期显著低于草盛期和枯黄期 ($P<0.05$) (图 4)。

3.3 鼠丘密度、土壤理化性质与土壤生物学特征的相关性分析

如图 5,将各物候期土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、细菌、真菌、放线菌、微生物总数共 7 个指标指标作为 Canoco 软件中的 species 部分,高原鼫鼠新土丘数、旧土丘数、总土丘数、土壤 pH 值、含水量、容重、有机质、全

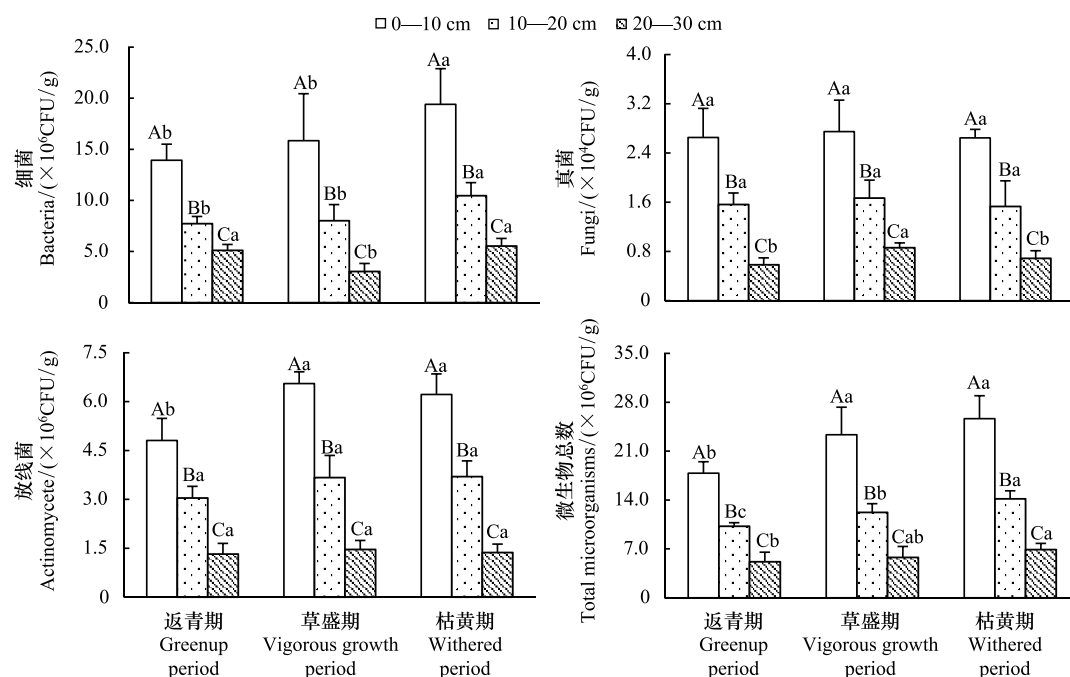


图4 高寒鼠荒地不同植被物候期和不同土壤深度下土壤微生物群落含量的季节变化

Fig.4 Seasonal dynamics of the content of soil microbial communities within three soil depths at different vegetation phenological phase in rodent-damaged alpine rangeland

氮、碱解氮、有效磷、速效钾、碳氮比共 12 个指标作为 Canoco 软件中的 environment 部分,首先用 species 数据进行去趋势对应分析 (Detrended correspondence analysis, DCA) 分析,发现返青期、草盛期、枯黄期各排序轴中梯度长度的最大值分别为 0.302, 0.266 和 0.270, 均小于 3, 故采用线性模型 RDA 分析鼠丘密度、土壤理化性质及土壤生物学特征指标的相关性较为合适。结果发现,不同植被物候期土壤生物学特征指标与土壤理化性质间均有显著的相关性 ($P < 0.05$), 与鼠丘密度无显著相关性 ($P < 0.05$)。返青期,土壤微生物特征指标受控于土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾土壤性状,二者呈正相关关系,其排序轴特征值为 92.2%;土壤容重、pH 值、碳氮比对土壤生物学特征具有微弱的抑制作用,其排序轴特征值为 3.3%;草盛期与返青期相关性关系类似,第 1 排序轴和第 2 排序轴特征值分别为 90.3% 和 2.1%;枯黄期第 1 排序轴和第 2 排序轴特征值分别为 90.7% 和 2.2%。

对不同土层深度 (0—10、10—20、20—30 cm) 不同植被物候期的土壤理化性质指标和土壤生物学特征指标的相关性矩阵进行 PCA 分析 (图 6)。结果发现高寒鼠荒地不同土层深度下土壤理化性质指标与土壤生物学特征指标在各植被物候期均呈现明显的聚类分布, 0—10 cm 和 10—20 cm 土层各指标数量特征在第一轴水平方向上排序为枯黄期 > 返青期 > 草盛期, 20—30 cm 土层各指标数量特征在第一轴水平方向上枯黄期大于草盛期和返青期,但返青期和草盛期间差距不大。说明高寒鼠荒地不同土层深度土壤理化性质指标与生物学特征指标呈现明显的季节性分布。

4 讨论

高原鼢鼠掘土造丘将大量下层土壤翻至了地面,使得草地景观、植被群落演替进程发生改变^[10,26]。土丘密度往往是指示高原鼢鼠种群数量的重要依据,何俊龄等^[27]研究发现以当年草地草盛期 (8 月) 前形成的新土丘密度能较好地表征高原鼢鼠的相对密度。王权业和樊乃昌^[10]在青海省门源县研究发现,高原鼢鼠一年中两个活动高峰期分别为 4—5 月和 9—11 月,与物候、温度、降雨等均有密切关系。王大伟等^[28]在川西北地

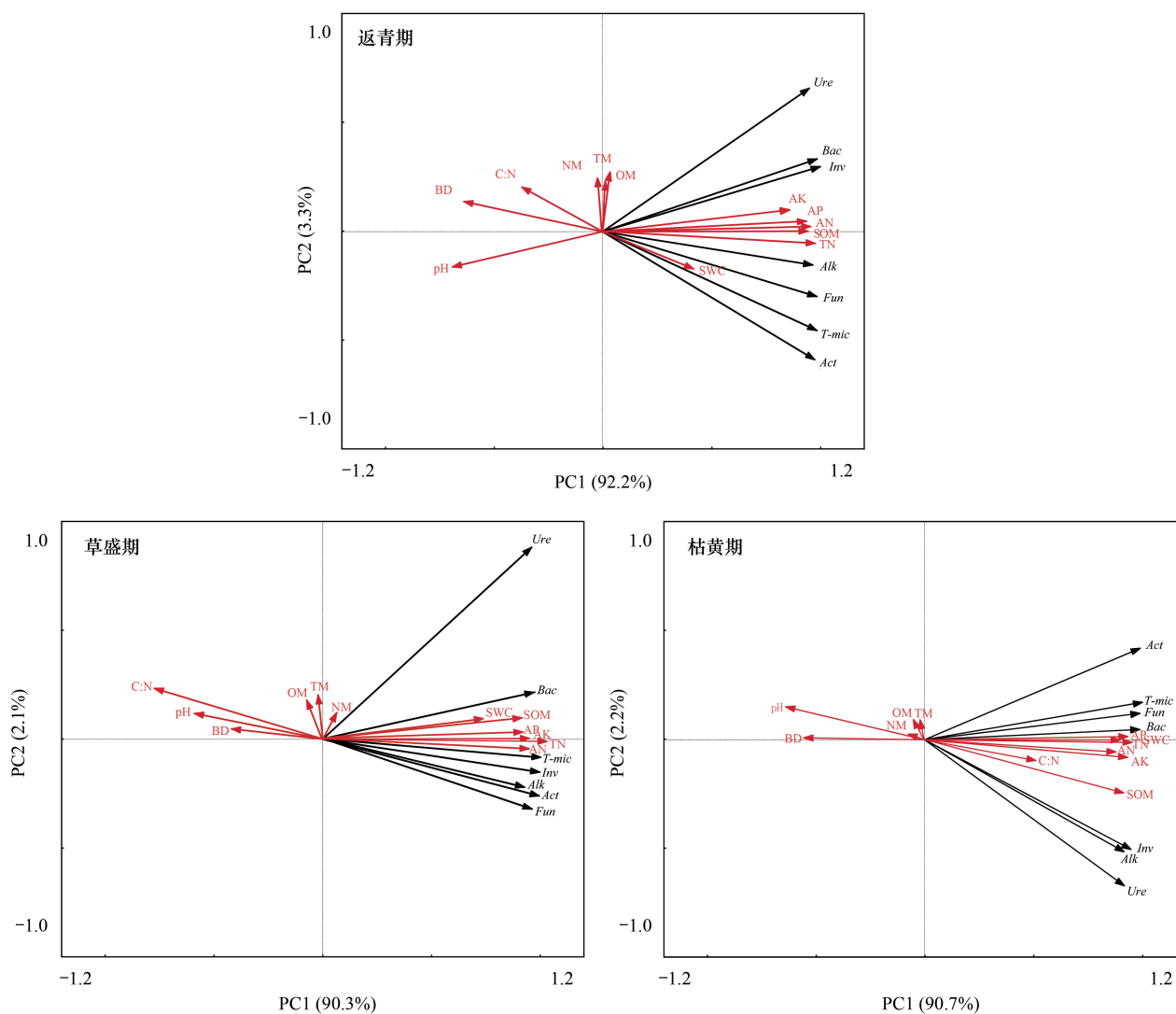


图5 高寒鼠荒地不同植被物候期高原鼢鼠鼠丘数量、土壤理化特性和土壤生物学特征的冗余分析

Fig.5 Redundancy analysis on the plateau zoker, soil physicochemical properties and biological characteristics at different vegetation phenological phase in rodent-damaged alpine rangeland

pH:pH 值;BD:容重;C:N:碳氮比;NM:新土丘数;TM:总土丘数;OM:旧土丘数;Ure:脲酶;Bac:细菌;Inv:蔗糖酶;AK:速效钾;AP:有效磷;AN:碱解氮;SOM:土壤有机质;TN:全氮;SWC:土壤含水量;Alk:碱性磷酸酶;Fun:真菌;Act:放线菌;T-mic:微生物总数;

区的研究发现秋季高原鼢鼠的活动强度显著高于春季,且各个季节鼠丘密度均能较好地反映出高原鼢鼠种群大小。本研究发现,严重退化的高寒鼠荒地上新土丘、旧土丘和总土丘密度植被枯黄期(10月)均大于返青期(5月)和草盛期(8月),草盛期土丘密度最低(新土丘 116 ± 28 个/ hm^2 、旧土丘 1892 ± 208 个/ hm^2 、总土丘 2008 ± 209 个/ hm^2)(表1)。植被草盛期(8月)平均月降雨量59.1 mm,为3个植被物候期中最低,平均月均温 13.36°C ,为3个植被物候期中最高(图1),可见不同植被物候期的降雨量和温度对高原鼢鼠的鼠丘密度产生了一定的影响,降雨量与鼠丘密度正相关,温度与鼠丘密度负相关^[10]。

鼠类造丘活动可以改变草地土壤的空间分布格局,进而改变土壤的理化性质、酶活性和微生物群落特征^[29]。Viall等^[30]和Wang等^[19]研究均发现地下鼢鼠干扰可以增加土壤含水量和有机质含量,从而改善土壤质量,促进土壤的物质能量循环。但高原鼢鼠种群密度超过阈值时,土壤理化性质、酶活性和微生物会发生不可逆转的改变,影响草地的可持续发展^[20]。Li等^[31]和胡雷等^[16]对不同恢复年限土丘土壤采样分析发现高

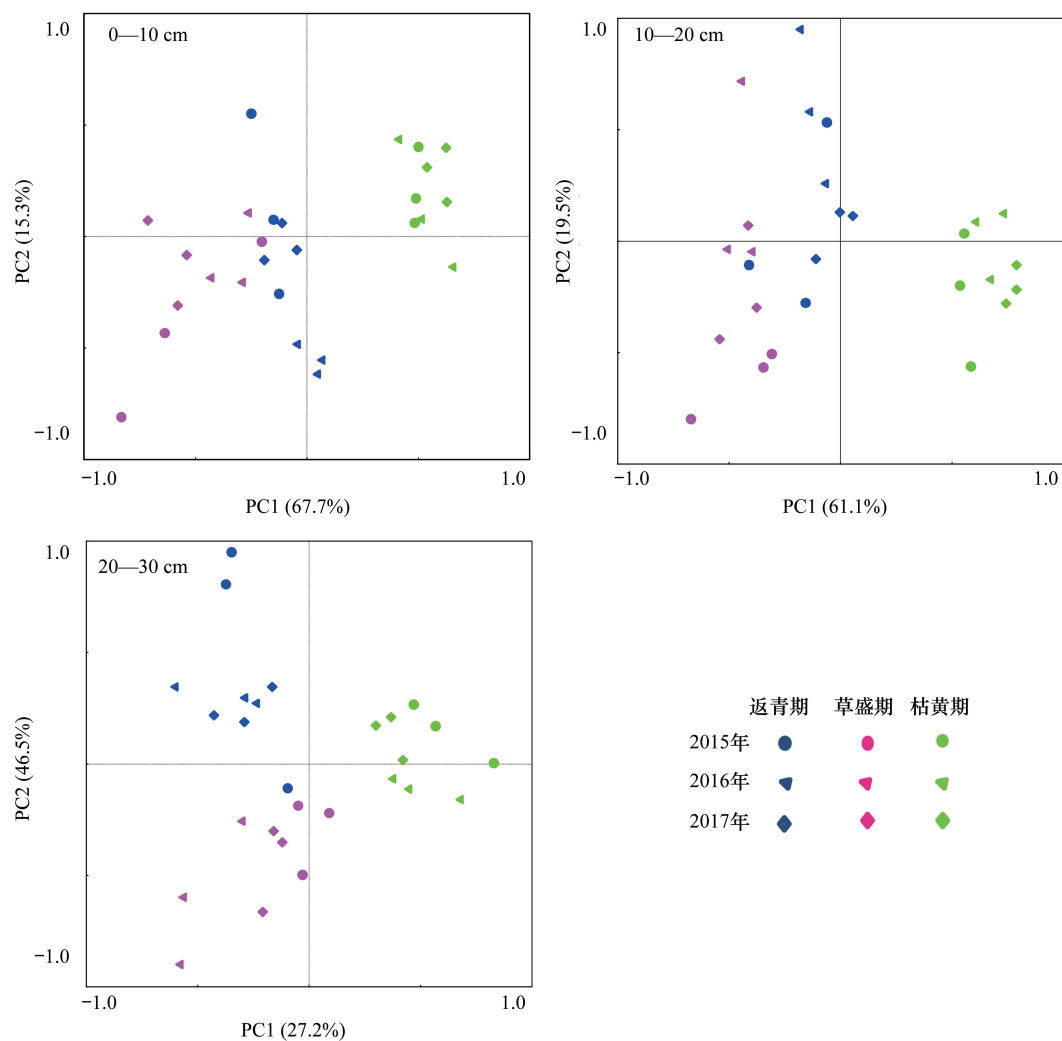


图6 高寒鼠荒地不同土层深度土壤理化性质与土壤生物学特征的主成分分析

Fig. 6 Principal component analysis of soil physicochemical properties and biological characteristics at three soil depths in rodent-damaged alpine rangeland

原鼯鼠掘丘和采食行为会对表土性质和土壤有机质产生消极的影响,造成草地土壤有机质、全氮、速效养分等含量显著降低。本研究从鼠丘周围的非土丘区域采样分析发现,高寒鼠荒地不同植被生长季各土层的营养物质分配比例有所变化,植被返青期鼠荒地 0—10、10—20、20—30 cm 土层分别占总有机质的 46%、28% 和 26%,草盛期分别占到 39%、34% 和 27%,枯黄期分别占到 51%、29%、20% (图 2),其他指标如全氮、碱解氮、有效磷和速效钾也有类似的规律。由此可见,不同植被生长季高原鼯鼠活动不仅影响了土丘上土壤养分含量的垂直分配^[15-16,30],对非土丘区域土壤养分在鼠荒地的垂直分配也产生了显著的影响^[32]。

土壤生物学特征与土壤有机质等营养源的丰富程度、土壤通气状况、水热状况有着密切关系^[33]。本研究发现随着土层加深,土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、细菌、放线菌、真菌数量以及总微生物数含量均逐渐降低,与孙飞达等^[34]在若尔盖花湖景区的研究结果一致。从植被返青期至枯黄期,土壤表层(0—10 cm)各生物学特征指标含量显著提高,下层土壤(10—20 cm 和 20—30 cm)生物学特征含量的变化不太显著(表 2、图 3、图 4),原因可能是返青期 5 月平均月均温为 6.64 °C (图 1),土壤还未完全解冻,导致土壤生物学特征含量均处在较低水平;草盛期 8 月份虽然温度较高,但鼯鼠活动强度下降,土壤通气状况较差,降雨量也较低,仅 59.10 mm,为 3 个植被物候期中最低,土壤生物学特征含量均处相较 5 月份持续升高;枯黄期 10 月份,鼯鼠活动强

度上升,土壤温度、湿度较高,导致土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、细菌、放线菌、真菌数量以及微生物总数均处在高位,这些因素对土壤表层生物学特征含量的影响更大^[32,35]。

土壤生物学特征对生态系统改变非常敏感,与环境因子关系密切^[36]。RDA 分析发现各植被物候期土壤理化性质和土壤生物学特征间均有显著的相关性,土壤 pH 值、容重与土壤生物学特征指标呈显著负相关,土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾与土壤生物学特征含量呈显著正相关(图 5),与胡雷等^[34]在三江源地区的研究一致。土壤碳氮比在植被返青期和草盛期与土壤生物学特征含量呈负相关,枯黄期与土壤生物学特征含量负相关,原因主要是枯黄季土壤有机质及全氮的垂直分配变化导致^[32]。PCA 分析发现,各土层土壤在第一轴水平方向上呈明显的聚类分布(图 6),表明虽然植被物候期改变了土壤理化性质和生物学特征含量的垂直分配,但不同土层指标含量呈现明显的季节性分布。0—10 cm 和 10—20 cm 土层各指标数量特征在第一轴水平方向上排序为:枯黄期>返青期>草盛期,20—30 cm 土层各指标数量特征在第一轴水平方向上枯黄期大于草盛期和返青期,但返青期和草盛期间差距不大。可见,植被枯黄期由于高原鼢鼠活动加剧对非土丘区域土壤表层的理化性质和生物学特征指标均产生了显著的影响。

参考文献(References):

- [1] 申格,徐斌,金云翔,陈实,张文博,郭剑,刘航,张玉静,杨秀春. 若尔盖高原湿地研究进展. 地理与地理信息科学, 2016, 32(4): 76-82, 89-89.
- [2] 冯文兰,钟昊哲,王永前,龚雪梅. 2001-2013 年若尔盖地区植被退化的时空格局分析. 草地学报, 2015, 23(2): 239-245.
- [3] 孙飞达,荀文龙,朱灿,李飞,陈晓霞,刘琳,刘伟,杨廷勇,廖习红. 川西北高原鼠荒地危害程度分级及适应性管理对策. 草地学报, 2018, 26(1): 152-159.
- [4] 唐川江,周俗,张新跃,张绪校,牛培莉,谢红旗,刘勇. 四川省草原鼠荒地调查报告. 草业科学, 2007, 24(7): 58-61.
- [5] 青烨,孙飞达,李勇,陈文业,李昕. 若尔盖高寒退化湿地土壤碳氮磷比及相关性分析. 草业学报, 2015, 24(3): 38-47.
- [6] 雍国玮,石承苍,邱鹏飞. 川西北高原若尔盖草地沙化及湿地萎缩动态遥感监测. 山地学报, 2003, 21(6): 758-762.
- [7] 张堰铭,刘季科. 高原鼢鼠挖掘对植物生物量的效应及其反应格局. 兽类学报, 2002, 22(4): 292-298.
- [8] 楚彬,花立民,周延山,刘丽,李帅. 祁连山东段不同放牧强度下高原鼢鼠栖息地选择分析. 草业学报, 2016, 25(1): 179-186.
- [9] 周建伟,花立民,左松涛,苏军虎,王巧玲. 高原鼢鼠栖息地的选择. 草业科学, 2013, 30(4): 647-653.
- [10] 王权业,樊乃昌. 高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)的挖掘活动及其种群数量统计方法的探讨. 兽类学报, 1987, 7(4): 283-290.
- [11] 丁连生,张卫国,韩天虎. 高原鼢鼠种群消长与繁殖特性的关系. 草业学报, 1998, 7(4): 49-54.
- [12] Reichman O J, Seabloom E W. The role of pocket gophers as subterranean ecosystem engineers. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(1): 44-49.
- [13] Kerley G I H, Whitford W G, Kay F R. Effects of pocket gophers on desert soils and vegetation. Journal of Arid Environments, 2004, 58(2): 155-166.
- [14] Šklíba J, Šumbera R, Chitaukali W N, Burda H. Home-range dynamics in a solitary subterranean rodent. Ethology, 2009, 115(3): 217-226.
- [15] 鲍根生,王宏生,曾辉,卡着才让,马志贵,刘生财. 不同形成时间高原鼢鼠丘土壤养分分配规律. 生态学报, 2016, 36(7): 1824-1831.
- [16] 胡雷,阿的鲁骥,字洪标,王长庭. 高原鼢鼠扰动及恢复年限对高寒草甸土壤养分和微生物功能多样性的影响. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2794-2802.
- [17] Wang T C, Xiong Y C, Ge J P, Wang S M, Li Y, Yue D X, Wang T M, Wang G. Four-year dynamic of vegetation on mounds created by zokors (*Myospalax baileyi*) in a subalpine meadow of the Qinghai-Tibet Plateau. Journal of Arid Environments, 2008, 72(2): 84-96.
- [18] 周延山,花立民,楚彬,刘丽,姬程鹏,田永亮. 祁连山东段高原鼢鼠对高寒草甸危害评价. 生态学报, 2016, 36(18): 5922-5930.
- [19] 于海玲,樊江文,李愈哲,史文娇. 高原鼢鼠干扰对三江源区高寒草甸群落特征的影响. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1902-1910.
- [20] Spehn E M, Joshi J, Schmid B, Alphei J, Körner C. Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. Plant and Soil, 2000, 224(2): 217-230.
- [21] Hu L, Zi H B, Ade L J, Lerdaui M, Wang C T. Effects of zokors (*Myospalax baileyi*) on plant, on abiotic and biotic soil characteristic of an alpine meadow. Ecological Engineering, 2017, 103: 95-105.
- [22] 刘荣堂,汪志刚,刘普海,如甲. 高原鼢鼠的危害等级与主分量分析//中国动物学会成立 60 周年学术讨论会论文集. 北京: 中国动物学会, 1994.

- [23] Sun F D, Chen W Y, Lin L, Liu W, Cai Y M, Smith P. Effects of plateau pika activities on seasonal plant biomass and soil properties in the alpine meadow ecosystems of the Tibetan Plateau. *Grassland Science*, 2015, 61(4): 195-203.
- [24] Sun F D, Chen W Y, Lin L, Liu W, Lu C X, Smith P. The density of active burrows of plateau pika in relation to biomass allocation in the alpine meadow ecosystems of the Tibetan Plateau. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2015, 58: 257-264.
- [25] 蔡立佳, 徐永刚, 宇万太, 胡宝柱, 吴亚西. 下辽河平原杨树连栽对土壤养分、微生物生物量和酶活性的影响. *生态学杂志*, 2013, 32(2): 337-343.
- [26] 刘锦上, 张卫国, 江小雷, 卫万荣, 葛庆征. 高原鼯鼠洞道空间对高寒草甸植被性状的影响. *草地学报*, 2011, 19(6): 927-932.
- [27] 何俊龄, 张金沙, 杨莹博, 邓汉刚, 魏进招, 张卫国. 高原鼯鼠土丘空间格局及主要特征研究. *草业学报*, 2006, 15(1): 107-112.
- [28] 王大伟, 郭永旺, 刘祖华, 杨文超, 张德勇, 王福美, 李宁, 刘晓辉. 川西北草原高原鼯鼠种群季节性特征与分布特点. *植物保护*, 2013, 39(4): 124-128.
- [29] Simeonovska N, Daniela M. A comparison of social behaviour in two rodent species: implications for the mating system of mound-building mice, *Mus spicilegus*. *Journal of Natural History*, 2008, 42(5/8): 279-287.
- [30] Viall E M, Gentry L F, Hopkins D G, Ganguli A C, Stahl P. Legacy effects of oil road reclamation on soil biology and plant community composition. *Restoration Ecology*, 2014, 22(5): 625-632.
- [31] Li X G, Zhang M L, Li Z T, Shi X M, Ma Q F, Long R J. Dynamics of soil properties and organic carbon pool in topsoil of zokor-made mounds at an alpine site of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Biology and Fertility of Soils*, 2009, 45(8): 865-872.
- [32] Clark K L, Branch L C, Hierro J L, Villarreal D. Burrowing herbivores alter soil carbon and nitrogen dynamics in a semi-arid ecosystem, Argentina. *Soil Biology and Biochemistry*, 2016, 103: 253-261.
- [33] 吴俐莎, 唐杰, 罗强, 汤博, 聂远洋, 王晓彤, 杨志荣, 孙群, 冯甦, 张杰. 若尔盖湿地土壤酶活性和理化性质与微生物关系的研究. *土壤通报*, 2012, 43(1): 52-59.
- [34] 孙飞达, 青烨, 朱灿, 路慧, 胡亚茜, 李勇, 陈文业. 若尔盖高寒退化草地土壤水解酶活性和微生物群落数量特征分析. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(7): 119-125.
- [35] 胡雷, 王长庭, 王根绪, 马力, 刘伟, 向泽宇. 三江源区不同退化演替阶段高寒草甸土壤酶活性和微生物群落结构的变化. *草业学报*, 2014, 23(3): 8-19.
- [36] Loranger-Merciris G, Barthes L, Gastine A, Leadley P. Rapid effects of plant species diversity and identity on soil microbial communities in experimental grassland ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8): 2336-2343.