

高寒草甸大型土壤动物群落结构特征 及其与环境的关系*

张洪芝 吴鹏飞[†] 崔丽巍

(西南民族大学生命科学与技术学院, 成都 610041)

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF SOIL MACROFAUNA COMMUNITY IN THE ALPINE MEADOW AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENT

Zhang Hongzhi Wu Pengfei[†] Cui Liwei

(College of Life Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China)

关键词 若尔盖; 大型土壤动物; 群落结构; 功能群; 环境因子; 冗余分析

中图分类号 S154.5 文献标识码 A

随着生态学的发展,地上地下的关系成为生态学领域的研究前沿。土壤动物是生态系统中的重要消费者和分解者,在维护生态系统结构和功能方面发挥着重要作用^[1]。土壤动物群落组成的变化可影响到植物群落组成、生长速度^[2]及物质分解^[3]等生态系统多个重要环节,而功能群组成还决定着地下食物网的结构和能量流动方向。因此,土壤动物既是陆地生态系统的重要组成部分,也是生态系统演化的重要驱动力。

青藏高原素有“地球第三极”之称,是地球上海拔最高、面积最大、形成最晚的高原。高原上的沼泽湿地不仅是中华民族的“水塔”,也是高原生物多样性维持基地和世界山地物种的重要起源和分化中心。位于青藏东缘的若尔盖湿地是世界上最典型的高原湿地。目前已有关于若尔盖湿地中小型土壤动物群落多样性的报道^[4-5],但关于大型土壤动物群落多样性的情况还不清楚。

本研究以青藏东缘若尔盖地区的沼泽草甸和草原草甸两种典型生境大型土壤动物群落为研究对象,旨在查明大型土壤动物的群落组成及功能群

特征。研究结果不仅可提供高寒草甸土壤动物多样性方面的基础资料,还能揭示高寒湿地演变过程中地下食物网的结构和物质循环功能的变化趋势。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

若尔盖湿地位于青藏高原东北边缘,属于黄河上游地区,其地理坐标介于东经 102°08′~103°39′、北纬 32°56′~34°19′之间。海拔 3 400~3 800 m,平均海拔 3 500 m。该区属高原寒带湿润季风气候。最冷月(1月)多年平均气温 -10.6℃,最热月(7月)平均气温 10.8℃;年均气温 0.7℃。多年平均降雨量 656.8 mm,其中 86%集中于 4 月下旬至 10 月中旬。年均蒸发量 1 232 mm,年均日照 2 389 h,平均日照 12 h。植被以沼泽植被和草甸植被为主,土壤以高原草甸土、高原沼泽土、高原泥炭土为主。

1.2 样地设置

在若尔盖县境内选取沼泽草甸(102°42.514′E, 33°28.900′N, 3 468 m)和草原草甸(102°27.025′E,

* 国家自然科学基金青年基金项目(40801092)、四川省青年基金(2012JQ0030)、四川省科技支撑项目(2010SZ0126)、教育部科学技术研究重点项目(209154)、国家科技支撑计划项目(2011BAK12B04-01)、中央高校基本科研业务费专项(11NZYTH01, 11ZYXS20)和西南民族大学研究生学位点建设项目(2011XWD-S071012)资助

[†] 通讯作者, E-mail: wupf@swun.cn

作者简介: 张洪芝(1984—),女,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为土壤生态学。E-mail: zh0729@gmail.com

收稿日期:2011-11-11;收到修改稿日期:2012-04-18

33°21.002'N, 3 441 m) 两种典型生境。采用样方法对植物群落进行调查。沼泽草甸的主要植物种类有:垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、高原毛茛 (*Ranunculus tanguticus*)、火绒草 (*Leontopodium nanum*)、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、老鹳草 (*Geranium pylzovianum*) 等, 高度 10 ~ 30 cm, 盖度 90% 以上。

草原草甸的主要种类为:羊茅 (*Festuca ovina*)、四川嵩草 (*Kobresia setchwanensis*)、高原毛茛、葛缕子 (*Carum carvi*)、草地早熟禾 (*Poa pratensis*)、棘豆 (*Oxytropis Kansuensis*) 等, 高度 20 ~ 40 cm, 盖度 90% 以上。采用常规分析方法测定土壤理化性质。两种生境的植物和土壤理化性质存在一定差异(表 1)。

表 1 高寒草甸两种生境的基本情况及 t -检验结果 ($n=6$)

生境	PS	AB(kg m ⁻²)	BB(kg m ⁻²)	BD(g cm ⁻³)	WC(%)	SOM(g kg ⁻¹)	TN(g kg ⁻¹)
沼泽草甸	14.86 ± 1.07	244.1 ± 72.3	1 795 ± 666	0.49 ± 0.05	80.39 ± 8.26	145.1 ± 10.2	6.38 ± 0.49
草原草甸	13.86 ± 1.35	494.2 ± 165.2	3 512 ± 1 755	0.94 ± 0.08	29.36 ± 8.17	69.50 ± 8.01	3.56 ± 0.32
t	1.54	4.51	3.01	18.48	13.28	15.26	12.25
p	0.15	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

生境	TP(g kg ⁻¹)	TK(g kg ⁻¹)	AN(mg kg ⁻¹)	AP(mg kg ⁻¹)	AK(mg kg ⁻¹)	pH
沼泽草甸	1.08 ± 0.11	14.39 ± 0.19	181.6 ± 5.9	8.58 ± 1.44	152.2 ± 55.1	6.13 ± 0.24
草原草甸	1.17 ± 0.07	18.62 ± 0.31	98.74 ± 9.59	7.09 ± 1.18	361.4 ± 164.4	5.96 ± 0.22
t	-2.45	34.93	19.07	1.88	3.69	1.36
p	0.03	<0.01	<0.01	0.09	0.01	0.2

注:PS:植物种类;AB:地上生物量;BB:地下生物量;BD:容重;WC:含水量;SOM:有机质;TN:全氮;TP:全磷;TK:全钾;AN:碱解氮;AP:有效磷;AK:速效钾。下同

1.3 土壤动物调查及鉴定

在两种生境中分别选取 6 个 50 cm × 50 cm 的样方,间隔距离 10 m 左右。对 0 ~ 15 cm 内的大型土壤动物进行调查,手捡法收集,用 75% 酒精溶液固定保存。于 2008 年 7 月和 10 月进行了两次调查,共调查大型土壤动物样方 24 个。根据《中国土壤动物检索图鉴》^[6] 在体式显微镜 Olympus SZX16 下对大型土壤动物鉴定,大部分土壤动物鉴定到科,并统计个体数量。

1.4 数据分析

1.4.1 群落结构划分 个体数量占总捕获量 10% 以上者为优势类群,1% ~ 10% 者为常见类群,不足 1% 者为稀有类群。

1.4.2 群落多样性 用类群数表示物种丰富度,

Shannon 指数 $H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ 表示相对多样性,式中, S 为类群数, P_i 为第 i 类群的百分比。

1.4.3 功能群划分 按照食性将土壤动物分为腐食性、捕食性、植食性和杂食性功能群^[7]。植食性包括鞘翅目幼虫、鳞翅目幼虫、同翅目、半翅目和直翅目;捕食性有鞘翅目成虫、蜘蛛目和石蜈蚣目;腐食性为双翅目幼虫、寡毛纲、等翅目和革翅目;杂食性为膜翅目(蚁科)。

1.4.4 群落排序分析 用多元典范冗余分析

(Redundancy analysis, RDA) 对土壤动物群落及其与环境的关系进行排序。在目分类阶元上对各样方的大型土壤动物个体数进行统计,以减少变量和降低图形复杂性。分析过程中对各类群的数量进行 $\log(x+1)$ 转换,用 Monte Carlo permutation test 检验 RDA 排序轴特征值的显著性,置换次数为 999。

1.4.5 统计分析 利用重复调查资料的方差分析(Repeated measures ANOVA)检验两生境间大型土壤动物群落多样性的总体差异。另用独立样本 t -检验分析两生境或季节间的差异。对不服从正态分布的数据,利用 $\log(x+1)$ 转换,如仍不服从正态分布,则用 Mann-Whitney U 法进行检验。

用 Microsoft Excel 2007、Canoco for Windows 4.5 和 SPSS 18.0 软件分析和作图。

2 结果与分析

2.1 群落组成

2008 年 7 月和 10 月在共捕获大型土壤动物 58 类,隶属于 2 门 4 纲 13 目(表 2)。优势类群有象甲科幼虫(占总捕获量的 34.06%)和金龟甲科幼虫(占 12.99%);常见类群有蚁科、薪甲科成虫、象甲科成虫、舞虻科幼虫和蝙蝠蛾科幼虫等 13 类,共占 36.66%;稀有类群有 43 类,占全部个体的 29.28%。

表 2 若尔盖两种高寒草甸大型土壤动物类群和数量组成

类群	沼泽草甸				草原草甸			
	密度 (ind. m ⁻²)			百分比 (%)	密度 (ind. m ⁻²)			百分比 (%)
	7 月	10 月	平均		7 月	10 月	平均	
象甲科幼虫 Curculionidae larvae	1.14	42.00	21.57	39.25	15.20	44.67	29.93	31.09
金龟甲科幼虫 Scarabaeidae larvae	5.14		2.57	4.68	0.80	33.33	17.07	17.73
叩甲科幼虫 Elateridae larvae	1.14	2.00	1.57	2.86	1.60	0.67	1.13	1.18
长角沼甲科幼虫 Ptilodaetlyidae larvae	2.29	1.33	1.81	3.29	0.80		0.40	0.42
叶甲科幼虫 Chrysomelidae larvae					1.60	1.33	1.47	1.52
步甲科幼虫 Carabidae larvae						2.00	1.00	1.04
粗角叩甲科幼虫 Throscidae larvae					1.60		0.80	0.83
长角象甲科幼虫 Anthribidae larvae						1.33	0.67	0.69
粪金龟科幼虫 Geotrupidae larvae						1.33	0.67	0.69
蚁甲科幼虫 Pselaphidae larvae					0.80		0.40	0.42
水龟甲科幼虫 Hydrophilidae larvae						0.67	0.33	0.35
隐翅虫科幼虫 Staphylinidae larvae	0.57		0.29	0.52				
阎甲科幼虫 Histeridae larvae	0.57		0.29	0.52				
蚁形甲科幼虫 Anthicidae larvae	0.57		0.29	0.52				
薪甲科成虫 Lathridiidae adult		16.67	8.33	15.16				
象甲科成虫 Curculionidae adult		2.67	1.33	2.43	0.80	11.33	6.07	6.30
长角象甲科成虫 Anthribidae adult						5.33	2.67	2.77
步甲科成虫 Carabidae adult	0.57	1.33	0.95	1.73	2.40	0.67	1.53	1.59
金龟甲科成虫 Scarabaeidae adult	1.14		0.57	1.04		0.67	0.33	0.35
隐翅甲科成虫 Staphylinidae adult					0.80		0.40	0.42
伪瓢甲科成虫 Endomychidae adult					0.80		0.40	0.42
三锥象甲科成虫 Brentidae adult					0.80		0.40	0.42
粪金龟科成虫 Geotrupidae adult		0.67	0.33	0.61				
出尾罩甲科成虫 Scaphidiidae adult						0.67	0.33	0.35
露尾甲科成虫 Nitidulidae adult						0.67	0.33	0.35
小蕈甲科成虫 Mycetophagidae	0.57		0.29	0.52				
水龟甲科成虫 Hydrophilidae adult	0.57		0.29	0.52				
舞虻科幼虫 Empididae larvae		9.33	4.67	8.49				
鹬虻科幼虫 Rhagionidae larvae		5.33	2.67	4.85				
蚤蝇科幼虫 Phoridae larvae						4.00	2.00	2.08
摇蚊科幼虫 Chironomidae larvae	1.71		0.86	1.56	1.60		0.80	0.83
大蚊科幼虫 Tipulidae larvae	0.57	0.67	0.62	1.13		1.33	0.67	0.69
食木虻科幼虫 Xylophagidae larvae					0.80		0.40	0.42
尖眼罩蚊科幼虫 Sciaridae larvae						0.67	0.33	0.35
酪蝇科幼虫 Piophilidae larvae						0.67	0.33	0.35
鹬虻科幼虫 Rhagionidae larvae	0.57		0.29	0.52				
大蚊科成虫 Tipulidae adult		0.67	0.33	0.61		1.33	0.67	0.69
蚁科 Formicidae	3.43	0.67	2.05	3.73	12.80	10.00	11.40	11.84
土蜂科 Scoliididae					1.60		0.80	0.83

续表

类群	沼泽草甸			草原草甸				
	密度 (ind. m ⁻²)		百分比 (%)	密度 (ind. m ⁻²)			百分比 (%)	
	7 月	10 月		平均	7 月	10 月		平均
宽蝽科 Veliidae		0.67	0.33	0.61	2.67	1.33	1.39	
长蝽科 Lygaeidae					1.60	0.67	1.13	1.18
膜蝽科 Hebridae					0.80	0.67	0.73	0.76
花蝽科 Anthocoridae						1.33	0.67	0.69
土蝽科 Cydnidae						1.33	0.67	0.69
奇蝽科 Enicocephalidae						0.67	0.33	0.35
红蝽科 Pyrrhocoridae		0.67	0.33	0.61				
蝙蝠蛾科幼虫 Hepialide larvae					6.40	0.67	3.53	3.67
夜蛾科幼虫 Noctuidae larvae	1.14		0.57	1.04	0.67	0.33	0.35	
直翅目 Orthoptera	1.14		0.57	1.04	0.67	0.33	0.35	
蚱总科 Tetrigoidea						0.67	0.33	0.35
同翅目 Homoptera					0.80	0.67	0.73	0.76
草蜚科 Hodotermitidae						0.67	0.33	0.35
丝尾蝮科 Diplatyidae						0.67	0.33	0.35
拟壁钱科 Oecobiidae	0.57		0.29	0.52	0.80		0.40	0.42
逍遥蛛科 Philodromidae	0.57		0.29	0.52				
石蜈蚣目 Lithomorpha		0.67	0.33	0.61				
小蚓类 Microdrile oligochaetes	0.57		0.29	0.52		2.00	1.00	1.04
正蚓目 Lumbricida						0.67	0.33	0.35
密度 (ind. m ⁻²)	24.57	85.33			55.20	137.33		
类群数	20	15	54.95	100	21	35	96.27	100

沼泽草甸和草原草甸大型土壤动物类群数依次为 31 和 45 个,呈显著增加趋势;共有类群为象甲科幼虫和金龟甲科幼虫等 18 个,特有类群分别为 13 和 27 个。除象甲科幼虫为两个生境的共同优势类群外,沼泽草甸的优势类群还有薪甲科成虫,草原草甸还有金龟甲科幼虫和蚁科。

2.2 群落多样性

草原草甸的密度、类群数和 Shannon 指数高于沼泽草甸,且 10 月高于 7 月(图 1)。重复测量分析结果(表 3)表明生境对类群数和密度有显著影响,对 Shannon 指数无显著影响;季节仅对密度有显著影响;生境和季节的交互作用对 3 种指数均无显著影响。独立样本 *t*-检验结果(图 1)表明 7 月份两种生境间仅密度存在显著差异,而 10 月份的密度、类群数和 Shannon 指数均存在显著的差异。这表明大型土壤动物群落多样性在两生境间有差异,并受季

节影响。而该区域不同生境间中小型土壤动物群落多样性的差异性相对较低^[5],反映出高寒草甸生境演变对大型土壤动物群落多样性的影响大于中小型土壤动物。

已有研究表明温度和降水^[8]的季节变化可导致土壤动物种类和个体数变化,并能影响群落结构^[9]。若尔盖地区大型土壤动物的季节变化较其他地区^[10]更显著,这可能与高寒地区温度和降水有较强的季节波动有关。

表 3 大型土壤动物多样性的重复测量分析(*F* 值)

因素	密度	类群数	Shannon 指数
生境	20.82 **	11.12 **	3.85
季节	9.54 *	0.72	0.01
生境 × 季节	3.31	0.14	2.15

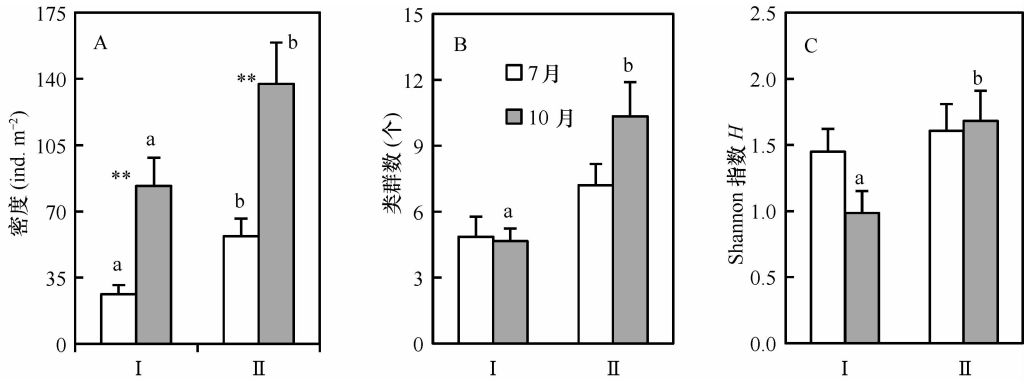


图1 大型土壤动物多样性(平均值 ± 标准误)

注: I: 沼泽草甸; II: 草原草甸。 ** 和 * 表示同一生境、不同季节间的差异, 显著性水平分别为 $p < 0.01$ 和 $p < 0.05$; 不同小写字母表示相同季节、不同生境间差异显著 ($p < 0.05$)。下同

相关分析结果(表4)表明土壤动物的类群数与土壤含水量、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和植物种类呈显著负相关,与容重、全钾、地下生物量呈显著正相关,表明草原草甸的环境更有利于大型土壤动物生存。Berg和Hemerik^[11]对欧洲草地研究发现土壤有机碳是影响大型土壤动物群落密度和多样性的主要因子。与沼泽草甸相比,草原草甸土壤含水量、有机质、全氮和碱解氮显著性下降,而土壤容重、全钾、速效钾和全磷呈显著增加(表1),其他研究也发现若尔盖草甸不同生境土壤养分呈明显变化^[12]。由此可知高寒草甸土壤性质变化是导致大型土壤动物群落差异的重要因素。

2.3 功能群结构

四个功能群的密度在两生境间存在一定差异(图2A)。植食、捕食和杂食性土壤动物的密度以草原草甸较高,腐食性则相反;除沼泽草甸杂食性外,10月各功能群密度均高于7月。重复测量方差分析结果(表5)表明生境对植食性、杂食性和捕食性土壤动物有显著影响,对腐食性无显著影响;季节仅对植食性和腐食性土壤动物有显著性影响;生境和季节的交互作用对植食性和杂食性影响显著。独立样本 t -检验结果(图2A)表明植食性土壤动物对生境和季节变化均具有敏感性,捕食性和杂食性土壤动物对生境变化敏感,而腐食性对季节变化敏感。由表1知沼泽草甸的土壤含水量显著高于草原草甸,再加上该区域的气温较低,沼泽草甸的凋落物分解速度较慢^[13],有利于腐殖质的形成,因此腐食性土壤动物密度较高。而草原草甸则能为非腐

食性土壤动物提供较充足的食物,故非腐食性土壤动物的密度最高。

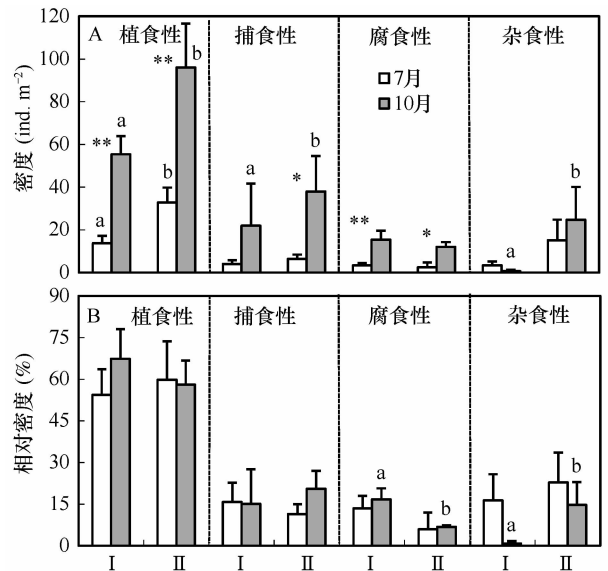


图2 大型土壤动物群落功能群结构(平均值 ± 标准误)

注:同一生境的捕食性和杂食性的密度和相对密度以及相同季节的植食性的相对密度为非参数检验结果

此外,由图2B知植食性和捕食性土壤动物的相对密度在生境和季节间均无显著差异,仅10月份腐食性和杂食性的相对密度在沼泽草甸和草原草甸间有显著差异。但是不同森林间大型土壤动物群落的功能群结构却存在较大差异^[14]。各功能群相对密度的变化表明高寒草甸大型土壤动物群落的功能群结构具有时空稳定性,也反映出高寒草甸生态系统的独特性。

表 4 大型土壤动物群落与环境因子的相关系数 (n = 12)

	PS	AB	BB	BD	WC	SOM	TN	TP	TK	AN	AP	AK	pH
密度	-0.10	0.26	0.34	0.49	-0.46	-0.49	-0.45	0.03	0.48	-0.51	-0.22	0.52	-0.07
类群数	-0.60*	0.58*	0.42	0.89**	-0.80**	-0.87**	-0.80**	0.39	0.86**	-0.89**	-0.63*	0.81**	-0.01
Shannon 指数	-0.57	0.39	0.35	0.63*	-0.58*	-0.59*	-0.54	0.37	0.61*	-0.62*	-0.48	0.48	0.14

表 5 各功能群密度及相对密度的重复测量分析 (F 值)

来源	植食性		捕食性		腐食性		杂食性	
	密度	相对密度	密度	相对密度	密度	相对密度	密度	相对密度
生境	13.20**	0.39	10.06*	1.10	0.45	4.39	42.11**	2.74
季节	7.41*	0.80	0.01	1.84	9.50*	1.36	0.27	0.20
生境 × 季节	8.51*	1.31	1.17	0.78	0.38	0.59	11.08**	2.54

2.4 影响大型土壤动物群落的因素

用冗余分析 (RDA) 对两种生境大型土壤动物群落各功能群及类群排序。由排序结果 (图 3) 知第一排序轴均与土壤容重、含水量、全钾、碱解氮等环境因子有较高的相关, 第二排序轴与植物种类的相关性较高。沼泽草甸和草原草甸群落的各样方均分布在第二排序轴的两侧, 表明大型土壤动物群落结构在两种生境间有明显差异。由图 3 还可知, 捕食性、植食性和杂食性功能群以及鞘翅目 (成虫和幼虫)、半翅目、寡毛纲、革翅目等 9 个类群的密度

与地上地下生物量、容重、全钾和速效钾含量呈正相关, 腐食性功能群及双翅目、直翅目、石蜈蚣目和蜘蛛目的密度则与土壤有机质、含水量、全氮和碱解氮呈负相关。其他研究也发现不同类群的大型土壤动物有其主要环境影响因子^[15], 如鞘翅目和等足目与土壤有机质有很强的相关性, 双翅目与土壤类型、土壤有机质含量、pH 以及植物种类均有相关关系^[16]。表明环境因子对不同功能群和不同类群的大型土壤动物的影响不同, 反映出不同类群土壤动物对生态系统由下至上或由上至下控制的响应不同^[17]。

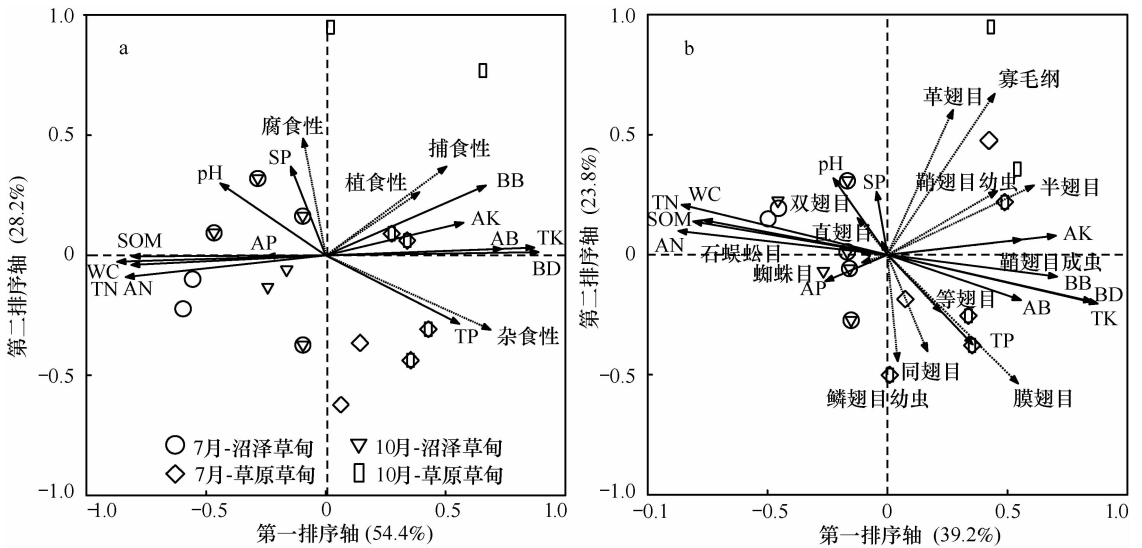


图 3 大型土壤动物功能群 (A) 和主要类群 (B) 与环境因子的冗余分析 (RDA)

3 结论

2008 年 7、10 两月在若尔盖地区的沼泽草甸和

草原草甸两种典型生境中共调查到大型土壤动物 2 门 4 纲 13 目 58 类, 优势类群为象甲科幼虫和金龟甲科幼虫。两种生境间的大型土壤动物群落组成结构及优势类群有明显差异。草原草甸的密度、类

群丰富度和 Shannon 多样性均高于沼泽草甸,10 月份最为明显。草原草甸的植食性、捕食性和杂食性土壤动物的密度高于沼泽草甸,腐食性则相反;但各功能群的相对密度具有较高的稳定性,表明高寒草甸大型土壤动物群落功能群结构具有一定的时空稳定性。土壤理化性质及地下生物量是影响高寒草甸生态系统大型土壤动物群落多样性及其功能群结构的重要因素。

参 考 文 献

- [1] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, 304: 1 629—1 633
- [2] de Deyn G B, Raaijmakers C E, Zoomer H R. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*, 2003, 422: 711—713
- [3] Yang X D, Chen J. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. *Soil Biol Biochem*, 2009, 41 (5): 910—918
- [4] 张洪芝, 吴鹏飞, 杨大星, 等. 青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化. *生态学报*, 2011, 31 (15): 4 385—4 397
- [5] 吴鹏飞, 杨大星. 若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响. *生态学报*, 2011, 31(13): 3 745—3 757
- [6] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998
- [7] Doblás-Miranda E, Sánchez-Piñero F, González-Megías A. Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: Composition and temporal changes in the assemblage. *Soil Biol Biochem*, 2007, 39(8): 1 916—1 925
- [8] Bokhorst S, Huiskes A, Convey P, et al. Climate change effects on soil arthropod communities from the Falkland Islands and the Maritime Antarctic. *Soil Biol Biochem*, 2008, 40(7): 1 547—1 556
- [9] Jabin M, Mohr D, Kappes H, et al. Influence of deadwood on density of soil macro-arthropods in a managed oak-beech forest. *Forest Ecol Manag*, 2004, 194 (1/3): 61—69
- [10] 施时迪, 白义, 金则新. 浙江天台山七子花林土壤动物群落结构特征与动态变化. *土壤学报*, 2009, 46(2): 326—333
- [11] Berg M P, Hemerik L. Secondary succession of terrestrial isopod, centipede, and millipede communities in grasslands under restoration. *Biol Fertil Soils*, 2004, 40(3): 163—170
- [12] 田应兵, 熊明标, 宋光煜. 若尔盖高原湿地土壤的恢复演替及其水分与养分变化. *生态学杂志*, 2005, 24(1): 21—25
- [13] 王长科, 吕宪国, 蔡祖聪, 等. 若尔盖高原草甸土与泥炭土氧化 CH_4 研究. *冰川冻土*, 2007, 27(4): 584—588
- [14] 肖以华, 佟富春, 杨昌腾, 等. 冰雪灾害后的粤北森林大型土壤动物功能类群. *林业科学*, 2010, 46(7): 99—105
- [15] 刘继亮, 殷秀琴, 邱丽丽. 左家自然保护区大型土壤动物与土壤因子关系研究. *土壤学报*, 2008, 45(1): 130—136
- [16] Woodcock B A, Watt A D, Leather S R. Influence of management type on Diptera communities of coniferous plantations and deciduous woodlands. *Agr Ecosyst Environ*, 2003, 95 (2/3): 443—452
- [17] Wardle D A, Yeates G W, Barker G M, et al. The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. *Soil Biol Biochem*, 2006, 38(5): 1 052—1 062