

文章编号: 0465-7942(2016)04-0053-08

高寒草甸土壤微生物量及酶活性的研究

牛 犇¹, 张立峰¹, 马荣荣¹, 刘晓琴¹, 张 翔¹, 赵 亮², 古 松¹

(1. 南开大学 生命科学学院, 天津 300071; 2. 中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘要:为揭示高寒草甸土壤微生物量和土壤酶活性特征,以青藏高原金露梅(*Potentilla fruticosa*)丛间草地和矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸为研究对象,分析了其土壤理化性质、土壤微生物量、微生物贡献率、土壤酶活性特征.结果表明:矮嵩草草甸土壤全氮、全磷、微生物碳(氮、磷)、微生物氮(磷)贡献率、土壤脲酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶活性均显著大于金露梅丛间草地;而土壤有效磷、磷酸酶活性均显著小于金露梅丛间草地;2种类型草甸的土壤有机质、微生物碳贡献率没有显著差异;2种类型草甸的土壤微生物量对土壤营养库的贡献率均在较低水平.说明高寒草甸在植被生长旺季土壤微生物量呈现较高的水平;而微生物量对土壤营养库比值略偏低.矮嵩草草甸比金露梅丛间草地更有利于土壤养分的提高以及土壤微生物的生长和繁殖.

关键词: 金露梅灌丛; 矮嵩草; 生物化学方法; 微生物贡献率

中图分类号: Q938; X321

文献标志码: A

0 引 言

土壤微生物与土壤酶是土壤生态系统中最活跃的组分,是土壤物质循环和能量流动的主要参与者^[1],在陆地生态系统生物地化循环和能量流动中具有不可替代的功能,对土壤有机质的矿化分解和植物养分的转化具有重要作用^[2].其中土壤微生物量(soil microbial biomass; SMB)是土壤活性养分的储备库和植物生长可利用养分的重要来源^[3],也是表征土壤微生物活性、调控土壤中能量和养分循环及有机物质转化过程的常用指标^[4].植物吸收的N、P、S分别有60%、47%、28%来自于土壤微生物^[5].值得注意的是,SMB对环境变化的响应比有机质更为敏感^[6],因此它又是反映土壤受外部干扰的良好生物学指标^[7].土壤酶作为土壤生态系统变化的敏感指标,参与土壤的各种代谢过程和能量转化,可客观地反映土壤肥力状况^[9].研究土壤微生物量、微生物贡献率以及土壤酶活性特征已成为土壤学的热点之一,对于掌握土壤肥力、合理持续地利用土壤资源具有重要意义.

近年来,随着全球气候变化和人类活动影响的加剧,青藏高原高寒生态系统的气候环境、土壤和植被状况均发生了强烈的变化^[10],这3方面既紧密联系又互相作用.土壤微生物量和酶活性受植被和土壤环境的强烈影响,这些影响可能使土壤中全量养分和有效养分含量发生改变,进而将对高寒植被的生产力和碳汇功能产生一定的影响^[11].高寒草甸是青藏高原高寒草地生态系统的主体,支撑着青藏高原地区畜牧业的发展,对该区的水源涵养和畜牧业发展意义重大,有关该地区宏观生态和生产方面的研究报道较多,但对土壤微生物量和酶活性特征的研究尚待加强.高原的特殊环境造就了适应寒冷湿中生的多年生植物群落——高寒草甸植被类型,在土壤湿度适中的平缓滩地、山地阳坡多以矮嵩草(*K. humilis*)草甸为主;在土壤湿度较高的山地阴坡和滩地多为金露梅(*P. fruticosa*)灌丛草甸.以上述2个典型草地生态系统为研究对象,探讨其土壤微生物量、微生物贡献率、酶活性及土壤理化性质的特征及其相互关系,以期掌握高寒草甸的土壤环境特征,对深入揭示青藏高原高寒草甸生态系统的适应性和可持续利用具有参考意义.

收稿日期: 2015-09-24

基金项目: 国家自然科学基金(31070433)

作者简介: 牛 犇(1989-),男,山西朔州人,硕士研究生.

通讯作者: 古 松(1960-),男,内蒙古呼和浩特人,教授,研究方向:陆地生态系统碳循环及自然环境变化对其的影响. E-mail: songgu@nankai.edu.cn

1 材料与方法

1.1 研究地概括

研究地位于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(简称海北站).海北站地处青藏高原东北隅,祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河谷西段.地理位置 $37^{\circ}29'-37^{\circ}45'N$, $101^{\circ}12'-101^{\circ}23'E$,站区海拔在(3 200—3 600) m之间.该地区具有典型的高原大陆性气候特征,冷季漫长而寒冷,暖季短暂而湿润,年平均气温 $-1.7^{\circ}C$,年均降水量560 mm,其中约80%的降水量集中在植物生长季的5—9月.

本实验在海北站区选择具有典型代表性的金露梅丛间草地和矮嵩草草甸2种类型自然生态系统.金露梅丛间草地的优势物种为金露梅,丛间草地优势植物种为紫羊茅(*Festuca rubra*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)和垂穗披碱草(*Elymus nutans*).矮嵩草草甸的优势物种为矮嵩草,伴生种为美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、雪白委陵菜(*Potentilla nivea*)、棘豆(*Oxytropis* spp.)等.土壤类型分别为暗沃寒冻锥形土、草毡寒冻锥形土.实验于2013年植物生长旺季的7—8月进行.

1.2 研究方法

1.2.1 植物的测定:地上生物量(above ground biomass; AGB)的测定采用收割法,分别在2种类型草甸样地内随机选择5个50 cm×50 cm的样方,把地上绿色植物齐地剪掉装入纸袋;根生物量(root biomass; RB)的测定采用根钻法,在地上生物量取样的5个样方内再随机选择二级样方铲除地表2 cm的土壤,用直径8 cm的根钻取土,土样带回实验室,取出石子等杂质,流水冲洗直到水清.最后置于 $65^{\circ}C$ 的烘箱内烘干72 h后称重,计算单位为 g/m^2 .

植物叶片N、P的测定采用收割法,将地上绿色植物齐地面剪掉装入纸袋,将枯枝落叶弃去,测定植物叶片的N、P含量.分别采用半微量凯氏定氮法和氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法.

1.2.2 土样的采集与测定:分别在2种类型草甸样地内随机选取5个取样点,除去地表凋落物后,用内径3 cm的土钻采样深度(0—20) cm;将土样立即用冰盒带回实验室,分为2份处理.一份自然风干,用于测定土壤理化性质和土壤酶活性;另一份 $4^{\circ}C$ 条件下保存,用于微生物量的测定.

土壤温湿度测定:分别在样地内随机选取5个取样点,使用土壤温度探针和便携式土壤水分测量系统测定5 cm深度的土壤温度和湿度,从7:00开始每隔2 h测定一次,每个样点3次重复.

土壤pH值用酸度计法;容重(soil bulk density; ρ_b)和孔隙度(soil porosity; SP)测定采用环刀法;有机质(organic matter; OM)测定采用硫酸—重铬酸钾外加热氧化法;全氮(total nitrogen; TN)和有效氮(active nitrogen; AN)测定分别采用半微量凯氏定氮法和扩散吸收法;全磷(total Phosphorus; TP)和有效磷(active phosphorus; AP)测定分别采用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法和碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法.

微生物碳(microbial biomass carbon; MBC)、氮(microbial biomass nitrogen; MBN)、磷(microbial biomass phosphorus; MBP)测定采用氯仿熏蒸—浸提法,矫正系数分别为0.38、0.54、0.4;脲酶(urease; URE)活性测定采用苯酚—次氯酸钠比色法,其活性以 NH_3-N mg/g土($37^{\circ}C$, 24 h)表示;磷酸酶(neutral phosphatase; NEP)活性测定采用磷酸苯二钠比色法,其活性以磷mg/g土($37^{\circ}C$, 24 h)表示;多酚氧化酶(polyphenol oxidase; POL)活性测定采用邻苯三酚比色法,其活性以红紫脒精mg/g土($37^{\circ}C$, 3 h)表示;过氧化氢酶(catalase; CAT)活性测定采用高锰酸钾滴定法,其活性以过氧化氢mg/g土($40^{\circ}C$, 30 min)表示^[12].

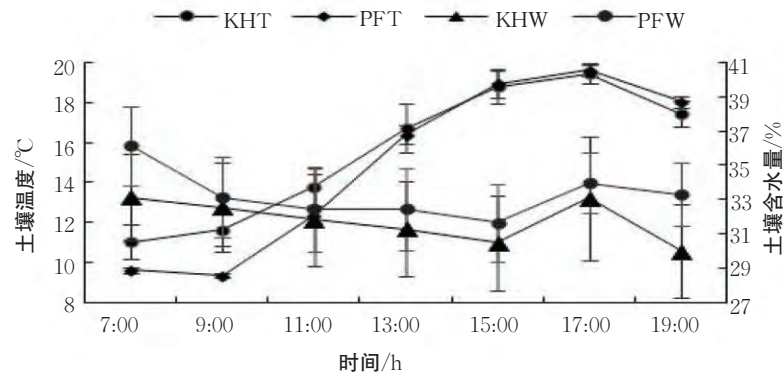
1.2.3 数据分析:数据经过Excel 2010整理后,采用SPSS 11.0软件进行统计分析.其中,不同类型草甸之间单个指标的差异性检验采用单因素分析法(One-Way ANOVA),所有数据均为3次重复的平均值.

2 结 果

2.1 土壤温度和含水量

总体上,两样地土壤温度变化趋势一致(图1),最高温度均出现在午后17:00,且二者温度接近,但午前金露梅丛间草地的温度明显偏低,即温度变化大于矮嵩草草甸.两样地土壤含水量变化趋势一致,但金露

梅丛间草地土壤含水量显著高于矮嵩草草甸($P<0.05$)。



PFT: 金露梅土壤温度; PFW:金露梅土壤含水量; KHT:矮嵩草土壤温度; KHW:矮嵩草土壤含水量

图1 2种类型草甸5 cm深度的土壤温度和含水量变化

Fig. 1 Changes of soil temperature and soil water content at 5 cm depth of two meadows

2.2 不同类型草甸的植被特征

2种类型草甸的地下生物量和叶片P含量差异不显著(表1),但地上生物量差异显著,矮嵩草草甸显著地大于金露梅丛间草地.植物N含量和N/P差异极显著($P<0.01$),金露梅丛间草地极显著地大于矮嵩草草甸.

表1 2种类型草甸的生物量和叶片的N、P含量

Table 1 Biomass and content of N and P in the leaves at two meadows

草甸类型	根生物量 $/(g \cdot m^{-2})$	地上生物量 $/(g \cdot m^{-2})$	N含量 $/(mg \cdot g^{-1})$	P含量 $/(mg \cdot g^{-1})$	叶片氮磷比 $/(N \cdot P^{-1})$
金露梅灌丛	$(1\ 515. \pm 146.66a)$	$(271.9 \pm 2.31b)$	$(17.05 \pm 0.31a)$	$(1.37 \pm 0.05a)$	$(12.49 \pm 0.26a)$
矮嵩草草甸	$(1\ 342.6 \pm 178.91a)$	$(379.9 \pm 2.46a)$	$(15.05 \pm 0.29b)$	$(1.44 \pm 0.04a)$	$(10.51 \pm 0.38b)$

表中不同小写字母代表差异显著($P<0.05$),下同

2.3 土壤养分特性

2种类型草甸的土壤容重差异不显著,田间持水量和土壤孔隙度差异显著($P<0.05$),矮嵩草草甸显著地大于金露梅丛间草地.土壤pH值差异显著($P<0.05$),金露梅丛间草地土壤pH值为6.64,呈中性;矮嵩草草甸土壤pH值为7.9,呈弱碱性.2种类型草甸的土壤有机质差异不显著(表2),而土壤全氮、全磷、有效氮和有效磷差异显著,矮嵩草草甸显著大于金露梅丛间草地($P<0.05$).

表2 2种类型草甸土壤理化性质与养分特征

Table 2 Features of soil nutrient of soil with different meadows

草甸类型	容重 $/(g \cdot cm^{-3})$	pH值 /%	孔隙度 /%	有机质 $/(g \cdot kg^{-1})$	全氮 $/(g \cdot kg^{-1})$	全磷 $/(g \cdot kg^{-1})$	效氮 $/(mg \cdot kg^{-1})$	有效磷 $/(mg \cdot kg^{-1})$
金露梅灌丛	$(0.78 \pm 0.28a)$	$(6.6 \pm 0.01a)$	$(67.91 \pm 0.30b)$	$(112.01 \pm 2.39a)$	$(4.58 \pm 0.04b)$	$(0.84 \pm 0.02b)$	$(485.5 \pm 2.16a)$	$(13.28 \pm 0.68b)$
矮嵩草草甸	$(0.79 \pm 0.12a)$	$(7.90 \pm 0.03b)$	$(71.16 \pm 0.81a)$	$(114.97 \pm 1.81a)$	$(5.11 \pm 0.07a)$	$(0.94 \pm 0.04a)$	$(499.5 \pm 2.53b)$	$(16.76 \pm 0.35a)$

2.4 土壤微生物特征

矮嵩草草甸土壤微生物碳、氮、磷均大于金露梅丛间草地(表3).矮嵩草草甸土壤微生物碳贡献率大于金露梅丛间草地,但差异不显著;矮嵩草草甸土壤微生物氮贡献率极显著大于金露梅丛间草地($P<0.01$);矮嵩草草甸土壤微生物磷贡献率显著大于金露梅草甸.金露梅丛间草地和矮嵩草草甸的土壤微生物碳氮

比存在显著性差异($P < 0.05$),且前者明显大于后者.

表3 2种类型草甸土壤微生物特征

Table 3 Features of soil microbial property of two meadows

草甸类型	微生物碳 $/(mg \cdot kg^{-1})$	微生物氮 $/(mg \cdot kg^{-1})$	微生物磷 $/(mg \cdot kg^{-1})$	微生物碳 贡献率	微生物氮 贡献率	微生物磷 贡献率
金露梅灌丛	$(547.43 \pm 17.55b)$	$(95.51 \pm 4.75b)$	$(13.61 \pm 0.50b)$	$(0.008 \ 4 \pm 0.000 \ 1a)$	$(0.020 \ 9 \pm 0.001 \ 0b)$	$(0.014 \ 5 \pm 0.000 \ 5b)$
矮嵩草草甸	$(630.12 \pm 28.85a)$	$(177.24 \pm 11.93a)$	$(21.65 \pm 1.92a)$	$(0.009 \ 6 \pm 0.000 \ 8a)$	$(0.034 \ 7 \pm 0.002 \ 2a)$	$(0.020 \ 8 \pm 0.001 \ 9a)$

2.5 土壤酶活性及其与土壤理化性质和养分的关系

2种类型草甸的4种土壤酶活性均呈现极显著差异性($P < 0.01$)(表4).金露梅丛间草地只有磷酸酶活性极显著大于矮嵩草草甸,其他3中酶的活性均极显著小于矮嵩草草甸.矮嵩草草甸的土壤脲酶、多酚氧化酶、过氧化氢酶的活性分别是金露梅草甸相应酶活性的3.39、2.32、1.05倍;而金露梅丛间草地的土壤磷酸酶活性是矮嵩草草甸土壤磷酸酶活性的2.23倍.

表4 2种类型草甸的土壤酶活性的比较

Table 4 Comparison of soil enzyme activity of two meadows

草甸类型	脲酶 $/(mg \cdot g^{-1})$	中性磷酸酶 $/(mg \cdot g^{-1})$	多酚氧化酶 $/(mg \cdot g^{-1})$	过氧化氢酶 $/(mg \cdot g^{-1})$
金露梅灌丛	$(0.533 \ 5 \pm 0.051 \ 9b)$	$(0.748 \ 7 \pm 0.030 \ 4a)$	$(0.469 \ 6 \pm 0.016 \ 8b)$	$(0.605 \ 0 \pm 0.003 \ 2b)$
矮嵩草草甸	$(2.025 \ 1 \pm 0.014 \ 4a)$	$(0.336 \ 3 \pm 0.016 \ 2b)$	$(1.182 \ 2 \pm 0.110 \ 2a)$	$(0.636 \ 2 \pm 0.004 \ 4a)$

土壤脲酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶的活性,均与pH、土壤全氮、有效磷、微生物氮(磷)呈现极显著正相关性($P < 0.01$),与全磷、微生物碳显著正相关性($P < 0.05$)(表5);与土壤有机质、有效氮的相关性不显著.土壤中性磷酸酶活性与pH、土壤全氮、有效磷、微生物氮呈极显著负相关性($P < 0.01$);与土壤微生物磷呈显著负相关性($P < 0.05$);与土壤有机质、全磷、有效氮、微生物碳的相关性不显著.

表5 土壤酶活性与土壤养分和微生物因子的相关性

Table 5 Correlations between soil enzyme activity and soil nutrient or microbial property

酶种类	pH值	有机质	全氮	全磷	有效氮	有效磷	微生物碳	微生物氮	微生物磷
脲酶	0.993**	0.404	0.947**	0.708*	0.468	0.901**	0.731*	0.933**	0.865**
中性磷酸酶	-0.964**	-0.375	-0.857**	-0.585	-0.470	-0.879**	-0.557	-0.868**	-0.755*
过氧化氢酶	0.930**	0.138	0.934**	0.757*	0.275	0.847**	0.694*	0.821*	0.872**
多酚氧化酶	0.991**	0.394	0.961**	0.833*	0.361	0.837**	0.890**	0.970**	0.969**

注:* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

3 讨 论

3.1 植被及土壤特征

植物体的N/P临界值可作为判断环境对植物生长的养分供应状况的指标^[13].Aerts和Chapin^[14]的研究表明植物N/P临界值分别为10和14,当 $10 < N/P < 14$ 时,生态系统受2种元素共同限制.本研究中,金露梅丛间草地和矮嵩草草甸植物叶片N/P均在10 ~ 14之间(表1),说明2种类型高寒草甸受N和P元素共同限制.另外,金露梅丛间草地叶片N/P(12.49)显著高于矮嵩草草甸(10.51),且金露梅丛间草地叶片N含量显著高于矮嵩草草甸,而P含量差异不显著,说明矮嵩草草甸可能受叶片N含量限制更强.

土壤有机质、氮素和磷素是土壤肥力中主要的养分指标,同时又是影响土壤结构的重要因素^[15].本研究中矮嵩草草甸土壤全氮、全磷、有效氮和有效磷含量显著大于金露梅丛间草地(表2),说明矮嵩草草甸土壤肥力更高^[16].这可能与矮嵩草草甸土壤孔隙度大,通透性高,地上生物量显著高于金露梅丛间草地有

关,因为地上生物量与土壤全氮、全磷具有正相关性^[17]。另外,土壤有机质的积累与温度、土壤含水量以及pH密切相关^[18,20],通常pH适宜,土壤温度高,土壤含水量适中,通气良好,微生物活动越活跃,越不利于土壤有机质的积累。本研究中,2种类型高寒草甸pH和土壤含水量差异显著,但并没有引起两个样地土壤有机质的差异,因此,对于处在低温环境下的高寒草甸,土壤温度对有机质含量的影响可能大于pH和土壤含水量,2种类型草甸土壤温度差异不显著这可能是导致其有机质含量差异不显著的主要原因。

3.2 土壤微生物

土壤微生物量反映土壤碳、氮、磷等的含量,同时土壤理化性质与土壤微生物量、组成等特征密切相关^[19]。土壤pH值是影响土壤微生物的数量、组成及其生理生化活性的重要因子,一定范围内,土壤微生物量随土壤pH值增大而增加^[20]。本研究中,矮嵩草草甸的土壤微生物量显著大于金露梅丛间草地(表4)。矮嵩草草甸pH呈碱性,土壤孔隙度大,通气状况良好,土壤肥力较高,为土壤微生物的周转消耗提供丰富的能源物质^[21];此外,金露梅丛间草地土壤总孔隙度相对较低,而相对较高的土壤含水量和较大的土壤温度变化(图1),可能会抑制土壤微生物的生长和繁殖^[22-23]。

凋落物的数量、质量的差异是造成微生物碳、氮、磷强度变化的主要原因^[20]。草地生态系统植被地上生物量大,为土壤微生物提供大量凋落物,而且土壤表层发达的根系分泌物及衰亡的根,也是微生物的养分来源^[24];林地虽然植被生物量大,但草本层不发达,代谢活跃的细根少,土壤微生物的可利用能源相对缺乏;而年降水少的草原化荒漠,物种的丰富度和生物量更低。本研究与其他生态系统比较如下:

表6 不同植被类型微生物量的比较

Table 6 Features of microbial biomass of different types of vegetation

植被类型	微生物碳 /(mg·kg ⁻¹)	微生物氮 /(mg·kg ⁻¹)	微生物磷 /(mg·kg ⁻¹)	参考文献
高寒草甸金露梅灌丛	547.43	95.51	13.61	本研究
高寒草甸矮嵩草草甸	630.12	177.24	21.65	本研究
内蒙古典型草原 (羊草、大针茅)	479.55	74.70		李香真等人 ^[25]
亚热带湿润森林	1 385.14	230.57	28.29	Arunachalam A et al ^[26]
温带红松林	748.00	79.00		刘爽 ^[27]
寒温带白桦、落叶松混交林	606.67	53.79		耿莹莹 ^[28]

本研究中的金露梅灌丛和矮嵩草草甸的土壤微生物碳分别为547.43 mg·kg⁻¹、630.12 mg·kg⁻¹,高于内蒙古典型草原(479.55 mg·kg⁻¹)^[25],但低于印度东北部的亚热带湿润森林(1 380.86 mg·kg⁻¹)^[26]。本研究的高寒草甸,年均温为-1.7 °C,年均降水量为560 mm,其植被组成主要是冷中生的多年生草本植物,常伴生中生的多年生杂类草^[18]。内蒙古羊草、针茅典型草原,多年均温-0.4 °C,多年平均降水量在358.4 mm^[25]。高寒草甸与内蒙古典型草原相比,虽然年均气温较低,但在植物生长旺季的7-8月,本高寒草甸地下生物量较大,加之降水相对丰富,有利于微生物的生长和繁殖。而亚热带湿润森林,年均温为18.2 °C,降水较多,年均降水量为2 500 mm^[15],常年温度高和降水较丰沛,微生物的生长和繁殖保持较高水平。同样,与其他生态系统相比,本研究的金露梅和矮嵩草草甸土壤微生物氮分别为95.51 mg·kg⁻¹、177.24 mg·kg⁻¹,高于内蒙古典型草原(74.70 mg·kg⁻¹)和温带红松林(79.00 mg·kg⁻¹)^[25,27]。土壤微生物磷分别为13.61、21.65 mg·kg⁻¹,低于亚热带湿润森林(28.29 mg·kg⁻¹)^[26]。升高的土壤温度以及适宜土壤含水量使该区氮磷分解加快,以致被微生物固定的氮磷增加。另外本研究样地发达的草本层,为土壤微生物提供大量营养物质,促进微生物的生长和繁殖。这与刘秉儒^[29]对贺兰山不同植被类型土壤微生物量研究结果一致。

微生物贡献率是指微生物量与土壤营养库的比值,可反映微生物养分转化速率以及参与土壤矿化部分的有机质稳定性,在指示土壤变化时,比微生物量或有机质单独应用有效,可作为土壤质量变化的1个重要指标^[8]。微生物量对土壤营养库的贡献率高说明有较多的营养被微生物固定,是潜在的有效营养源;贡

献率低说明微生物具有固定营养的潜力,是潜在的营养库^[30].本研究中,矮嵩草草甸微生物碳贡献率(0.96%)与金露梅丛间草地的(0.84%)差异不显著,均低于亚热带湿润森林(2.73%)^[26]和内蒙古草原(2.05%)^[25].这可能是由于高寒草甸生长季土壤温度相对升高,微生物代谢期变长,提供植物生长所需要的碳源和营养物质的能力增大,因而微生物量在有机碳中所占比例降低^[31].然而,矮嵩草草甸微生物氮贡献率(3.47%)显著大于金露梅丛间草地(2.09%),均低于亚热带湿润森林(5.34%)^[26],高于温带红松林(1.09%)^[27].这可能是由于亚热带湿润森林温度、土壤含水量较高,微生物生长和繁殖,较多的氮固定于微生物细胞中,减少土壤氮的损失.而温带红松林凋落物成分以及分解产物可使土壤酸化,可能会通过影响土壤pH值,进而影响微生物的生长和活性,使微生物氮贡献率偏低^[27].

结果表明,高寒草甸的土壤微生物量对土壤营养库的贡献率处于较低水平,这可能是由于高寒草甸土壤养分相对较肥沃,但气候条件恶劣,低温环境使得土壤有机物矿化分解慢,土壤有效氮和有效磷相对缺乏,使土壤微生物更多的是受N和P的限制^[32],制约了微生物的生长和繁殖.

3.3 土壤酶活性

土壤酶是土壤活跃的有机成分之一,在土壤养分循环以及植物养分供给过程中起重要作用^[33],其中过氧化氢酶(CAT)和多酚氧化酶(POL)在一定程度上反映土壤腐殖质化强度和有机质转化速度^[34-35].本研究中,矮嵩草草甸有较高的过氧化氢酶、多酚氧化酶活性,矮嵩草草甸土壤孔隙度大,通气状况良好,土壤肥力较高,土壤微生物量大,加快土壤酶的分泌,使土壤中的氧化酶活性较高;氧化酶活性越强,腐殖质再合成速度越快,土壤有机质积累越明显.脲酶经过酶促反应生成氨,是植物氮素营养来源之一^[36].本研究中,矮嵩草草甸有较高的脲酶活性,其植被受N限制,通过刺激增加脲酶分泌,提高土壤脲酶活性,加快土壤有机氮化合物矿化,提高土壤N利用效率.磷酸酶能矿化有机磷,促进植物对有效磷的吸收,调节土壤磷素供应^[37].本研究中,矮嵩草草甸有较低的磷酸酶活性,当植物受N限制,会间接降低P循环速率^[38],限制磷酸酶活性.另外,受土壤酸碱性的影响,弱碱性pH对中性磷酸酶分解有抑制作用.另一方面,已有研究报告认为根系分泌更多磷酸酶^[9,39],矮嵩草草甸较低的地下生物量分泌磷酸酶更少.土壤水解酶活性较强,加快土壤有机质矿化,提高土壤代谢速度,进而对土壤营养元素的循环和转化产生积极的影响.

土壤中可供养分循环和植物利用的营养元素的多少,与土壤酶的活性高低直接相关;在有机养分充足的情况下,土壤酶活性越高,土壤有机质的矿化率和土壤代谢速度越高,越有利于系统营养循环^[40].本研究中,脲酶活性与土壤全氮极显著相关,表明其活性可以氮素转化过程.过氧化氢酶活性和多酚氧化酶活性均与土壤全氮、有效磷、全磷、微生物量呈显著相关.表明2种酶与土壤肥力诸因素均密切相关,是影响土壤肥力的一个关键酶,在一定程度上反映了土壤微生物过程的强度.这与朱丽^[41]等人对松嫩羊草草甸土壤酶活性的研究一致.

表7 不同植被类型微生物贡献率特征

Table 7 Features of microbial contribution rate of different types of vegetation

植被类型	微生物碳贡献率/%	微生物氮贡献率/%	微生物磷贡献率/%	参考文献
金露梅灌丛	0.84	2.09	2.08	本研究
矮嵩草草甸	0.96	3.47	1.45	本研究
内蒙古典型草原 (羊草、大针茅)	2.05	2.14		李香真等 ^[25]
亚热带湿润森林	2.73	5.34		Arunachalam A et al ^[26]
温带红松林	1.06	1.90		刘爽 ^[27]

4 结 论

矮嵩草草甸与金露梅丛间草地相比,矮嵩草草甸加速土壤微生物的生长和繁殖,土壤中氧化酶和水解酶

活性均较高,更有利于土壤养分状况的改善;另外矮嵩草草甸在提高土壤腐殖质再合成强度,促进土壤有机质积累,提高土壤有机质的矿化率和土壤代谢速度方面优于金露梅丛间草地,其更有利于高寒草甸生态系统营养循环.

高寒草甸土壤微生物量高于内蒙古典型草原和寒温带白桦、落叶松混交林,但低于亚热带湿润森林,与其在植被生长旺季土壤温度对微生物的限制得到一定缓解有关.高寒草甸的土壤微生物量对土壤营养库的贡献率处于较低水平.本实验对于微生物群落种类尚需进一步深入研究,以期明确其与环境的内在联系.

参 考 文 献

- 1 刘子健. 退耕还林不同模式对土壤微生物和酶活性影响研究[D]. 四川成都: 四川农业大学, 2005.
- 2 Tate III R L. Soil microbiology[M]. New York: John Wiley and Sons, 2000.
- 3 Sparling G P. Ratio of microbial biomass Carbon to Soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter[J]. Soil Research, 1992, 30: 195-207.
- 4 徐华勤, 章家恩. 广东省不同土地利用方式对土壤微生物碳氮的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4 112-4 118.
- 5 Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations[J]. New York: Soil Biochemistry, 1991: 359-396.
- 6 Yu W T, Jiang Z S, Zhou H, et al. Effect of different land use patterns on soil microbial biomass carbon and its turnover rate in an aquic soil[J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(8): 1 302-1 306.
- 7 Ocio J A, Brookes P C. An evaluation of methods for measuring microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that Develops[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1990, 22: 685-694.
- 8 唐玉珠, 魏朝富, 颜廷梅, 等. 土壤质量生物学指标研究进展[J]. 土壤, 2007, 39(2): 157-163.
- 9 刘善江, 夏雪, 陈桂梅, 等. 土壤酶的研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(21): 1-7.
- 10 王一博, 王根绪, 张春敏. 高寒植被生态系统变化对土壤物理化学性状的影响[J]. 冰川冻土, 2007, 29(6): 921-927.
- 11 Chapin III F S, Matson P A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M]. New York: Springer-Verlag, 2002: 83-144.
- 12 Guan S M. Soil enzyme and research method[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- 13 Ågren G I. The C:N:P stoichiometry of autotrophs-theory and observations[J]. Ecology Letters, 2004(7): 185-191.
- 14 Aerts R, Chapin F S III. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns [J]. Advances in Ecological Research, 2000, 30: 1-67.
- 15 孙波, 张桃林, 赵其国, 等. 我国东南丘陵坡山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 362-368.
- 16 沈慧, 姜凤岐, 杜晓军, 等. 水土保持林土壤肥力及其评价指标[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 60-65.
- 17 杜峰, 梁宗锁, 徐学选, 等. 陕北黄土丘陵区撂荒群落土壤养分与地上生物量空间异质性[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 13-22.
- 18 王长庭, 龙瑞军, 王启基, 等. 高寒草甸不同海拔梯度土壤有机质氮磷的分布和生产力变化及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2005, 14(4): 15-20.
- 19 邹莉, 于洋. 原始红松林土壤微生物量动态及其与土壤理化性质的关系[J]. 草业科学, 2014, 31(1): 15-21.
- 20 Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil [J]. Biological Reviews, 1992, 67(3): 321-358.
- 21 文都日乐, 李刚. 呼伦贝尔不同草地类型土壤微生物量及土壤酶活性研究[J]. 草业学报, 2010, 19(5): 94-102.
- 22 杨庆朋, 徐明, 刘洪升, 等. 土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2 301-2 311.
- 23 Wang C K, Yang J Y, Zhang Q Z. Soil respiration in six temperate forests in China[J]. Global Change Biology, 2006: 2 103-2 114.
- 24 Patra D D, Chand S, Anwar M. Seasonal changes in microbial biomass in soils cropped with palmarosa (*Cymbopogon martinii* L.) and Japanese mint (*Mentha arvensis* L.) in subtropical India[J]. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19(2/3): 193-196.
- 25 李香真, 曲秋皓. 蒙古高原草原土壤微生物量碳氮特征[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 97-104.

- 26 Arunachalam A, Arunachalam K. Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India [J]. *Plant and Soil*, 2000, 223(1/2): 187–195.
- 27 刘爽, 王传宽. 五种温带森林土壤微生物生物量碳氮的时空格局[J]. *生态学报*, 2010, 30(12): 3 135–3 143.
- 28 耿莹莹. 大兴安岭典型林分土壤微生物生物量动态变化[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- 29 刘秉儒. 贺兰山东坡典型植物群落土壤微生物量碳、氮沿海拔梯度的变化特征[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(4): 883–888.
- 30 Malchair S, Carnol M. Microbial biomass and C and N transformations in forest floors under European beech, sessile oak, Norway spruce and Douglas-fir at four temperate forest sites[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41: 831–839.
- 31 薛蕊, 刘国彬, 戴全厚, 等. 侵蚀环境生态恢复过程中人工刺槐林土壤微生物量演变特征[J]. *生态学报*, 2007, 27(3): 909–917.
- 32 周兴民. 中国嵩草草甸[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- 33 王光华, 金剑, 韩晓增, 等. 不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1 275–1 280.
- 34 曾宪军, 刘登魁. 不同浓度阿特拉津对三种肥力条件土壤过氧化氢酶的影响[J]. *湖南农业科学*, 2005(6): 33–35.
- 35 李媛媛. 黔中石灰岩地区不同植被类型根际土壤酶研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(30): 9 607–9 609.
- 36 Harris D, Voroney R P, Paul E A. Measurement of microbial biomass N:C by chloroform fumigation-incubation [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1997, 77: 507–514.
- 37 王芸, 韩宾, 史忠强, 等. 保护性耕作对土壤微生物特性及酶活性的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 120–142.
- 38 Timothy E. Crews. Phosphorus regulation of nitrogen fixation in a traditional Mexican agroecosystem[J]. *Biogeochemistry*, 1993b, 21: 141–166.
- 39 陈懂懂. 青藏高原东北缘高寒草甸土壤养分、微生物碳氮及氮矿化潜力的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2005.
- 40 焦婷, 常根柱, 周学辉, 等. 高寒草甸草场不同载畜量下土壤酶与土壤肥力的关系[J]. *草业学报*, 2009, 18(6): 98–104.
- 41 朱丽, 郭继勋, 鲁萍, 等. 松嫩草甸3种主要植物群落土壤脲酶的初步研究[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(5): 638–643.

Study of Microbial Biomass and Enzymatic Activity on the Alpine Meadow

Niu Ben¹, Zhang Lifeng¹, Ma Rongrong¹, Liu Xiaoqin¹, Zhang Xiang¹, Zhao Liang²,
Gu Song¹

(1. College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China;

2. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract: To reveal the characteristics of soil microbial biomass and enzyme activity of alpine meadow, we studied the soil microbial biomass (SMB), microbial contribution rate and soil enzyme activity in the two typical alpine ecosystems of *Potentilla frutisosa* (PF) grassland and *Kobresia humilis* (KH) on the Qinghai-Tibetan Plateau. Results showed that soil total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), microbial biomass of carbon (MBC), nitrogen (MBN) and phosphorus (MBP), contribution rate of microbial nitrogen and phosphorus, urease (URE), catalase (CAT) and polyphenol oxidase (POL) activity in KH meadow was significantly greater than those in PF grassland. However soil available phosphorus (AP), neutral phosphatase (NEP) activity was significantly less than that in PF grassland. There was no significant difference between soil organic carbon (SOC) and microbial carbon contribution rate. This study suggested that MBC, MBN, MBP of alpine meadow was presented a higher level during the growing season, and microbial contribution rate was low, and KH meadow was more conducive to improve soil nutrient and microbial growth and reproduction comparing with PF grassland.

Key words: *Potentilla frutisosa*; *Kobresia humilis*; biochemical methods; microbial contribution rate