

不同退化程度高寒草甸土壤磷素含量与碱性磷酸酶活性研究

高亚君, 李亚娟*, 姜智英, 达朝玲, 胡蕊梅

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为探讨高寒草甸退化对土壤磷素、碱性磷酸酶活性及其季节动态的影响, 分别在春季、夏季和冬季以典型围封草地(FG)、轻度(LD)、中度(MD)和重度退化草甸(HD)为研究对象, 对不同季节不同类型草地0~10, 10~20, 20~30 cm 土层全磷、有效磷和碱性磷酸酶活性进行了研究。结果表明, 春季高寒草地退化对土壤磷素含量没有明显影响; 相比FG, 夏季退化高寒草地0~10 cm 土层全磷含量显著升高($P < 0.05$), 但LD、MD和HD间差异不显著; 退化导致10~20 cm 土层全磷含量显著降低($P < 0.05$)。同一类型草地同一土层全磷含量冬季最高, 夏季最低, 与夏季相比, 冬季0~10 cm 土层土壤全磷含量从FG到HD依次增加了308.33%、150.00%、176.20%、177.30%。FG春季0~10 cm 土层有效磷含量为30 mg/kg, 随退化程度加剧, 从LD到HD含量依次升高。FG和HD季节与土层交互效应有效磷含量差异极显著, 而LD和MD不显著。LD和MD的土壤有效磷含量夏季最高, 冬季最低, HD则春季最高, 冬季最低。春季同一退化程度高寒草地0~10 cm 土层碱性磷酸酶活性最低, 剖面10~30 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性在春夏两季显著升高($P < 0.05$)。相关性分析结果表明, 仅在冬季土壤碱性磷酸酶活性与有效磷含量呈显著正相关, 表明冬季土壤碱性磷酸酶活性可以表征土壤有效磷状况。

关键词:高寒草甸; 退化; 土壤全磷; 土壤有效磷; 碱性磷酸酶

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)05-0081-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.05.010



高寒草地是我国草地生态系统的重要组成部分, 在水土保持、防风固沙、生物多样性维持及草牧业发展中具有重要意义^[1-2]。近年来, 随着人口日益增长和工农业的迅速发展, 草原生态系统遭到极大破坏^[3-4], 草地退化严重。草地退化主要由不合理的草地利用以及天然鼠害等因素导致, 引起草原生态功能衰弱、生产能力下降和土壤生境恶化等现象。东祁连山是西北地区重要的生态区, 区域高寒草地河西走

廊的生态、文化和经济等发展起到了极其重要的作用^[5]。由于长期的过度放牧、气候演变及大肆开荒等活动, 该区可利用草地面积持续减小, 草地土壤退化严重。土壤作为地球的皮肤, 是植物生长最重要的生态因子, 为植物的生长提供各种养料, 其理化性质能直接影响植物群落组成和生理活性^[6]。土壤磷素是植物体内必需的营养元素之一, 直接影响植物的生长发育状况。土壤酶是土壤生态系统物质循环和能量流动的重要参与者, 也是草地生态系统代谢的重要动力之一, 其活性大小对土壤养分储量和生化反应过程有明显指示作用^[7], 土壤磷酸酶直接影响有机磷的矿化作用和植物磷素营养状况, 其活性可以表征土壤磷素的状况, 并与土壤磷素含量具有相关性^[8-10]。草地退化对土壤全磷、有效磷含量和碱性磷酸酶活性等皆有一定影响^[11], 随草地利用方式的改变和退化程度的增

收稿日期:2021-11-12; **修回日期:**2022-03-05

基金项目:甘肃省自然科学基金(20JR5RA036); 甘肃省草原生态修复治理科技支撑项目

作者简介:高亚君(1994-), 女, 河南民权人, 硕士研究生。

E-mail: gaoyj27915@163.com

*通信作者。E-mail: liyj@gsau.edu.cn

加,土壤磷素及其化学特性也有较大差异。

为揭示草地退化过程中土壤营养元素含量的变化规律,有学者从不同角度对退化草地土壤养分、酶活性、微生物群落结构及草地植被等进行了相关研究,周万海等^[12]研究不同退化梯度的高寒草地不同层次土壤理化性状变化特征发现,轻度退化草地0~10 cm土层全磷含量升高,而未退化草地到“黑土滩”退化草地含量依次降低;王婷等^[13]研究发现土壤全磷随退化程度加剧呈显著降低,草地退化首先影响土壤的物理属性,其次影响草地群落组成,从而导致草地生产力明显降低;马源等^[14]的研究发现土壤中全磷和速效磷含量、土壤中微生物的含量随退化程度的加剧均降低。退化草地土壤是一个极其复杂的体系,只有较为准确把握土壤养分的变化规律,才能对退化草地实施有效恢复措施^[15-16]。随着高寒草地退化加剧,磷素表现出能显著提高草地生产力和延缓草地退化等独特作用^[17],人们对高寒草地土壤磷素开展了不少研究,但对不同类型、不同剖面、不同季节高寒草地土壤磷素含量和碱性磷酸酶的综合研究不足。因此,本研究通过对高寒退化草地土壤磷元素化学特性进行定量、定性分析和对碱性磷酸酶活性的研究,旨在明确不同退化程度高寒草地土壤磷素含量及碱性磷酸酶活性

变化规律,为揭示土壤生产力、评价土壤退化程度和制定草地退化管理制度以及探究生态环境保护等方面提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于东祁连山甘肃农业大学高山草原试验站,地理位置 N 37°40', E 102°32', 平均海拔 2 960 m, 年均降水量 416 mm, 多为地形雨, 且集中在 7~9 月, 土壤 pH 值在 7.0~8.2, 年均气温为 0.8℃, 1 月和 7 月平均气温分别为 -10.8℃ 和 12.4℃。气候多寒冷潮湿, 昼夜温差较大, 太阳辐射强, 年日照时间 2 600 h。无绝对无霜期, 仅分冷热两季。土壤类型为山地黑钙土, 质地为中壤质。样地基本概况见表 1。

1.2 土壤样品采集与处理

分别在春季(4月)、夏季(7月)和冬季(11月), 用土钻法于 FG、LD、MD 和 HD 4 种类型天然草地取土壤样品, 试验区秋季短暂, 8 月底 9 月初可见落雪, 故未设置秋季样地。每个样地随机选取 3 个样区, 作为 3 次重复。每个样区取 5 个样点。每个样点按 0~10、10~20、20~30 cm 3 个土层深度取样带回实验室。不同季节样地间采用 GPS 定位。对新鲜样品进行风

表 1 试验草地概况

Table 1 General situation of the different grassland types

草地类型	地理位置	海拔高度/m	草地状况
围封草地 (FG)	N 37°11.949' E 102°46.677'	2 909	三年未放牧, 植被以扁蓿豆(<i>Melissilus ruthemicus</i>)、珠芽蓼(<i>Polygonum viviparum</i>)、披碱草(<i>Elymus nutans</i>)、唐松草(<i>Thaicticum aquilegi folium</i>)、苔草(<i>Carex</i> spp.)、早熟禾(<i>Poa pratensis</i>)、银莲花(<i>Anemone cathayensis</i>)、盖度 100%, 草高 30 cm
	N 37°11.929' E 102°46.645'	2 908	
	N 37°11.904' E 102°46.657'	2 909	
轻度退化草地 (LD)	N 37°11.773' E 102°46.894'	2 909	唐松草(<i>Thaicticum aquilegi folium</i>)、银莲花(<i>Anemone cathayensis</i> Kitag), 盖度 70%
	N 37°11.780' E 102°46.881'	2 906	
	N 37°11.800' E 102°46.845'	2 906	
中度退化草地 (MD)	N 37°12.089' E 102°46.632'	2 914	唐松草(<i>Thaicticum aquilegii folium</i>)、麻花苳(<i>Gentiana straminea</i>)、球花蒿(<i>Artemisia smithii</i>)、披碱草(<i>Elymus nutans</i>)、棘豆(<i>Oxytropis ochrocephala</i>)、银莲花(<i>Anemone cathayensi</i>)和毛茛(<i>Ranunculus japonicus</i>), 盖度 50%
	N 37°12.066' E 102°46.609'	2 916	
	N 37°11.998' E 102°46.669'	2 916	
重度退化草地 (HD)	N 37°12.061' E 102°46.735'	2 914	银莲花(<i>Anemone cathayensis</i>)、唐松草(<i>Thaicticum aquilegi folium</i>)、球花蒿(<i>Artemisia smithii</i>)、毛茛(<i>Ranunculus japonicus</i>)、麻花苳(<i>Gentiana straminea</i>)、披碱草(<i>Elymus nutans</i>)、棘豆(<i>Oxytropis ochrocephala</i>), 盖度 30%
	N 37°12.102' E 102°46.656'	2 917	
	N 37°12.035' E 102°46.767'	2 907	

干,分别过1 mm和0.25 mm筛,分类整理,编号备用。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤磷素含量的测定 土壤全磷含量采用 $\text{HClO}_4-\text{H}_2\text{SO}_4$ 消煮,钼锑抗比色法测定;土壤有效磷含量采用0.5M NaHCO_3 提取,钼锑抗比色法测定^[18]。

1.3.2 土壤碱性磷酸酶活性测定 土壤碱性磷酸酶采用0.5%磷酸苯二钠比色法。在磷酸酶的作用下,基质水解所生成苯酚的量表示酶的活性^[19]。

1.4 数据统计分析

试验数据分析使用Microsoft Excel 2010和SPSS 17.0软件。采用Pearson相关分析法进行相关性分析。相关系数 r 表示2个随机变量间线性相关性的强弱,取值-1~1。-1代表显著负相关;1代表显著正相关;0代表两变量无关,表示两变量间线性关系很弱,或不是线性关系。 $P<0.05$ 时,分析数据具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 退化程度对高寒草地土壤全磷含量及其季节动态的影响

不同草地类型不同季节在春季和冬季高寒草地退化对土壤全磷含量没有明显影响,与夏季相比,FG退化高寒草地0~10cm土层土壤全磷含量显著升高($P<0.05$),但LD、MD和HD之间差异不显著,而10~20 cm土层全磷含量显著降低($P<0.05$)。同一类型草地同一土层全磷含量冬季最高,夏季最低,与夏季相比,与夏季相比,冬季0~10 cm土层土壤全磷含量

从FG到HD依次升高308.33%、150%、176.2%、177.3%。FG、LD、MD和HD 0~10 cm土层全磷含量均呈现冬季>春季>夏季的变化规律。

随土壤深度的增加:春季,FG和LD全磷含量均依次降低,而MD和HD 3个土层间差异不显著($P<0.05$)。夏季,FG土壤全磷含量0~10 cm土层最低,表层与10~30 cm土层全磷含量差异显著($P<0.05$)。而LD和HD均表现出0~10 cm土层最高,与下层差异显著($P<0.05$)。冬季,FG、LD的3个土层差异不显著,MD、HD随土层加深呈逐渐降低趋势。季节与土层交互作用间4种类型草地全磷含量差异均不显著($P>0.01$)(表2)。

2.2 退化程度对高寒草地土壤有效磷含量及其季节动态的影响

不同草地类型不同季节的土壤有效磷含量,春季FG 0~10 cm土壤有效磷含量为30 mg/kg,MD与FG差异不显著($P>0.05$),LD和HD均显著降低。而与FG相比,夏季和冬季LD、MD同一土层间有效磷含量升高,HD降低。FG各季节同一土层土壤有效磷含量均大于重度退化草地。冬季有效磷含量在LD达到最大值27 mg/kg,MD、HD与FG差异不明显(表3)。

HD同一土层全磷含量春季最高,冬季最低;LD、MD夏季最高,冬季最低。从春季到冬季,HD同一土层有效磷含量呈依次降低的变化规律;从春季到冬季,LD和MD同一土层有效磷含量呈先升高后降低的变化规律。说明退化改变了有效磷的季节变化规律。

表2 不同类型高寒草地土壤全磷含量

Table 2 Soil total phosphorus content of different alpine meadow types

g/kg

季节	土层/cm	FG	LD	MD	HD
春季	0~10	0.24±0.01 ^{aA}	0.25±0.00 ^{aA}	0.25±0.01 ^{aA}	0.26±0.01 ^{aA}
	10~20	0.20±0.01 ^{bB}	0.21±0.00 ^{bB}	0.23±0.01 ^{aA}	0.24±0.01 ^{aA}
	20~30	0.19±0.00 ^{bB}	0.20±0.02 ^{bB}	0.23±0.00 ^{aA}	0.25±0.00 ^{aA}
夏季	0~10	0.12±0.00 ^{bB}	0.20±0.01 ^{aA}	0.21±0.00 ^{bB}	0.22±0.01 ^{aA}
	10~20	0.20±0.02 ^{aA}	0.15±0.02 ^{bB}	0.10±0.01 ^{bC}	0.09±0.01 ^{bB}
	20~30	0.19±0.01 ^{bA}	0.10±0.01 ^{cB}	0.26±0.01 ^{aA}	0.07±0.00 ^{cC}
冬季	0~10	0.49±0.06 ^{aA}	0.50±0.08 ^{aA}	0.58±0.00 ^{aA}	0.61±0.03 ^{aA}
	10~20	0.46±0.00 ^{bA}	0.60±0.02 ^{aA}	0.56±0.01 ^{aA}	0.48±0.03 ^{bB}
	20~30	0.47±0.01 ^{abA}	0.46±0.01 ^{abA}	0.48±0.01 ^{ab}	0.43±0.01 ^{bB}
季节×土层(F值)		39.83	62.50	114.33	65.83

注:同行不同小写字母表示同一季节相同土层不同草地类型之间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一草地类型同一季节不同土层之间差异显著($P<0.05$)。下同

FG 在 3 个季节均表现出 3 个土层间有效磷含量变化不明显,而春、冬两个季节,HD 土壤有效磷含量均随土层深度增加而降低,春季 3 个土层之间差异显

著($P < 0.05$)。FG 和 HD 季节与土层交互作用有效磷含量差异极显著($P < 0.01$),LD 和 MD 不显著。

表 3 不同类型高寒草地土壤有效磷含量

Table 3 Soil available phosphorus content of different alpine meadow types

mg/kg

季节	土层/cm	FG	LD	MD	HD
春季	0~10	30±1 ^{aA}	22±0 ^{bB}	33±2 ^{aA}	23±1 ^{bA}
	10~20	29±0 ^{abA}	28±1 ^{bA}	31±0 ^{aA}	18±1 ^{cB}
	20~30	33±2 ^{aA}	29±1 ^{bA}	32±1 ^{abA}	13±1 ^{cC}
夏季	0~10	25±1 ^{cA}	63±4 ^{aA}	40±1 ^{bA}	17±0 ^{dA}
	10~20	24±0 ^{bA}	34±1 ^{ab}	41±2 ^{aA}	18±3 ^{bA}
	20~30	25±1 ^{abA}	30±1 ^{ab}	26±4 ^{abB}	18±2 ^{bA}
冬季	0~10	14±0 ^{cA}	27±0 ^{aA}	15±0 ^{cA}	14±1 ^{bA}
	10~20	14±0 ^{cA}	27±1 ^{aA}	14±0 ^{cA}	12±0 ^{bAB}
	20~30	12±0 ^{cB}	27±1 ^{aA}	14±1 ^{cA}	11±1 ^{bB}
季节×土层(F值)		8.33**	406.83	60.33	23.50**

2.3 退化程度对高寒草地土壤碱性磷酸酶活性及其季节动态的影响

退化导致土壤碱性磷酸酶活性升高,春季和夏季随退化程度加剧,土壤碱性磷酸酶活性也逐渐升高(图 1—2),而冬季相反,表现出降低的趋势(图 3)。总体来看,春季 3 种退化高寒草地土壤中碱性磷酸酶活性随土层加深而升高在春季和夏季,剖面分布在 10~30 cm 土层碱性磷酸酶活性随土壤退化程度加剧而显著升高($P < 0.05$),而冬季则相反。MD 夏季和冬季不同土层碱性磷酸酶活性有显著性差异($P < 0.05$)。

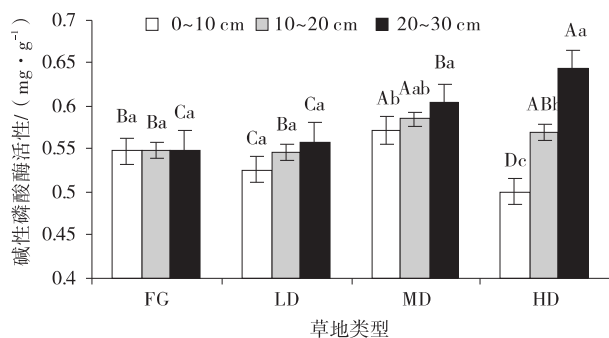


图 1 春季土壤碱性磷酸酶活性

Fig. 1 Alkaline phosphatase activity in Spring

2.4 土壤碱性磷酸酶活性与土壤全磷、有效磷含量的相关性

相关分析结果表明(表 4),春季 0~10 cm 土层碱性磷酸酶活性与土壤全磷含量不存在显著的相关关系($P > 0.05$),而与土壤有效磷含量存在极显著正相

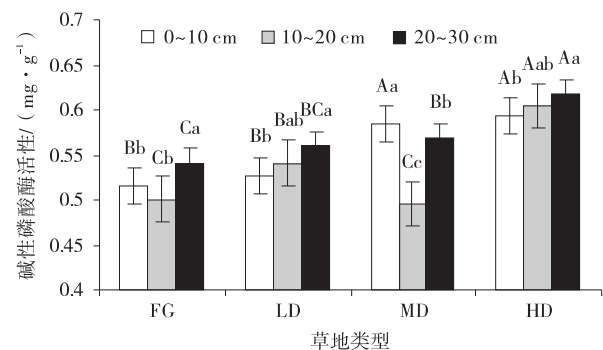


图 2 夏季土壤碱性磷酸酶活性

Fig. 2 Alkaline phosphatase activity in Summer

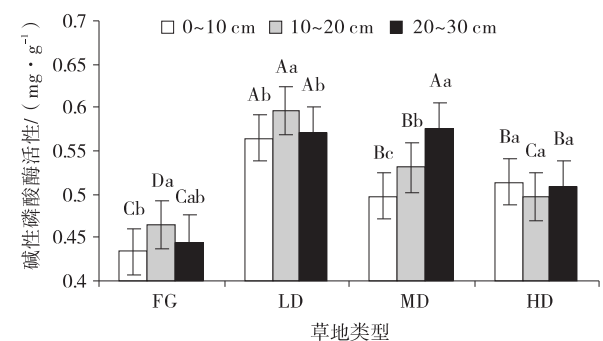


图 3 冬季土壤碱性磷酸酶活性

Fig. 3 Alkaline phosphatase activity in Winter

关系($P < 0.01$),相关系数为 0.882。10~20 cm 土层碱性磷酸酶与土壤有效磷、全磷均不存在显著性相关关系。20~30 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性与土壤全磷、有效磷均有极显著性相关关系($P < 0.01$),前者正相关系数为 0.919,后者负相关系数为 -0.733。

夏季 0~10 cm 土层碱性磷酸酶活性,与土壤全磷

含量存在极显著正相关关系($P < 0.01$), 相关系数为 0.756; 而与土壤有效磷含量不存在显著相关关系($P > 0.05$)。10~20 cm 土层土壤碱性磷酸酶与土壤有效磷、全磷均不存在显著性相关关系。20~30 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性与土壤全磷含量不存在显著的相关关系, 而与土壤有效磷含量存在显著性负相关关系($P < 0.05$), 相关系数为 -0.643。

冬季 0~10 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性与土壤

全磷含量不存在显著相关关系($P > 0.05$), 而与土壤有效磷含量存在极显著正相关关系($P < 0.01$), 相关系数为 0.756。10~20 cm 土层碱性磷酸酶活性与土壤全磷、有效磷含量均有极显著正相关关系($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.915 和 0.849。20~30 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性与土壤全磷含量不存在显著相关关系, 而与土壤有效磷含量存在显著性正相关关系($P < 0.05$), 相关系数为 0.579。

表 4 不同季节不同土层土壤碱性磷酸酶与磷素含量的相关系数矩阵

Table 4 Matrix of correlation coefficients among soil indices of different soil depth in different seasons

项目	土层/cm	全磷			有效磷		
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
春季	0~10	-0.409			0.882**		
	10~20		0.547			-0.035	
	20~30			0.919**			-0.733**
碱性磷酸酶	夏季	0.756**			-0.387		
	10~20		-0.475			-0.530	
	20~30			-0.508			-0.643*
冬季	0~10	0.156			0.756**		
	10~20		0.915**			0.849**	
	20~30			0.144			0.579*

注: * 表示相关性显著水平 $P < 0.05$; ** 表示相关性显著水平 $P < 0.01$, 下同

3 讨论

与 FG 相比, 春季不同退化程度 0~10 cm 土层土壤全磷含量变化不显著, 夏季和冬季 0~10 cm 土层土壤全磷含量显著升高, 说明草地退化引起夏冬两季土壤全磷含量升高, 而对春季土壤全磷含量没有明显影响。这是因为夏季气温大幅度升高, 为牧草生长旺季, 大量进入土壤的枯枝落叶矿化作用加快; 冬季牧草同化的全磷含量减少, 微生物对磷的矿化没有停止, 全磷含量有所回落^[20]。全磷含量变化整体上没有呈现一定规律, 主要原因可能是草地退化引起土壤磷循环速度加快; 同时过度放牧家畜的粪便对全磷含量有影响, 这与赵帅^[21]等的研究结果大体相同。FG 同一土层全磷含量变化规律为冬季 > 春季 > 夏季, 冬季最高是由于气温明显降低, 空气干燥, 土壤封冻, 牧草枯黄, 土壤中的磷被固定, 既无吸收又无释放。

不同季节同一土层土壤有效磷含量整体变化规律为: 轻度退化 > 中度退化 > 围封草地 > 重度退化, 这与周万海等^[12]的研究结果不完全一致。草地退化改变了有效磷的季节变化规律, 与王小燕等^[11]对退化

高寒草甸土壤理化性质季节变化的研究结论相同。夏季土壤有效磷含量下降, 其原因可能是牧草进入生长季开始吸收养分, 草地植被对土壤速效磷的吸收利用率升高, 使土壤中的磷减少, 导致速效磷含量降低。春季和夏季围封草地土壤碱性磷酸酶活性均高于冬季。主要是因为春季和夏季受气候影响, 土壤微生物数量增加, 活动频率加强, 分泌的酶数量增多, 活性也强^[22]。随退化程度加剧, 春季和夏季同一土层碱性磷酸酶活性不断上升。这与周会程等^[23]对不同退化梯度高寒草地酶活性变化特征的研究结论不同。土壤酶活性在不同退化程度下的变化较为复杂, 在退化土壤生态系统, 土壤酶活性的高低不仅与土壤生态系统的退化有关, 而且与土壤类型、植被特征、土壤微生物以及酶类本身的性质有关^[24]。

相关性分析表明, 春季和冬季 0~10 cm 土层碱性磷酸酶活性与土壤有效磷含量存在极显著正相关关系; 夏季则相反。冬季 10~20 cm 土层碱性磷酸酶与土壤全磷、有效磷含量存在极显著正相关关系。春季 20~30 cm 土层碱性磷酸酶活性与土壤全磷、有效磷含量均有极显著相关关系, 而冬季土壤碱性磷酸酶只

与土壤有效磷存在极显著相关关系。一般认为,土壤碱性磷酸酶活性可以作为指示土壤磷素状况的指标^[25],与土壤有效磷含量呈正相关关系^[26]。而本研究在春季和夏季20~30 cm土层碱性磷酸酶活性与土壤有效磷含量呈显著负相关,可能是由于土壤碱性磷酸酶活性更易受其底物,产物含量或其他如土壤pH、土壤碳氮等的影响,能够刺激土壤中的生物使其分泌更多磷酸酶,从而提高有效磷的获取能力,其中的定量关系和机理还有待于进一步研究。轻度退化不仅没有降低土壤磷素养分和酶活性,反而有利于土壤养分循环和微生物活动,增加了土壤酶数量,促进了有机磷的矿化作用^[27]。

4 结论

草地退化引起夏冬季土壤全磷含量升高,而对春季土壤全磷含量没有明显影响。全磷含量变化整体上没有规律。不同季节同一土层土壤有效磷含量整体变化规律:LD>MD>FG>HD。围封草地各季节同一土层土壤有效磷含量均大于HD。随退化程度加剧,同土层土壤碱性磷酸酶活性逐渐升高,尤其是春夏两季。整体上各季节同土层间退化草地土壤碱性磷酸酶活性高于围封草地。4种类型草地季节与土层交互作用全磷含量差异均不显著,FG和HD季节与土层交互作用有效磷含量差异极显著,而LD和MD不显著。仅冬季土壤碱性磷酸酶活性与土壤有效磷含量具有极显著正相关。

参考文献:

- [1] 刘安榕,杨腾,徐炜,等. 青藏高原高寒草地地下生物多样性进展、问题与展望[J]. 生物多样性, 2018, 26(9): 58—73.
- [2] Sun J, Zhou T C, Liu M, *et al.* Linkages of the dynamics of glaciers and lakes with the climate elements over the Tibetan Plateau [J]. *Earth—Science Reviews*, 2018, 185: 308—324.
- [3] 郝爱华,薛娟,彭飞,等. 青藏高原典型草地植被退化与土壤退化研究[J]. 生态学报, 2020, 40(3): 964—975.
- [4] Wang Z Q, Zhang Y Z, Yang Y, *et al.* Quantitative assess the driving forces on the grassland degradation in the Qinghai - Tibet Plateau, in China [J]. *Ecological Informatics*, 2016, 33: 32—44.
- [5] 张建贵,王理德,姚拓,等. 东祁连山不同退化草地植物群落特征与土壤养分特性[J]. 水土保持学报, 2019, 33(1): 227—233.
- [6] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2010.
- [7] 李邵宇,孙建,王毅,等. 青藏高原不同退化梯度草地土壤酶活性特征[J]. 草业科学, 2020, 37(12): 2389—2402.
- [8] 吴雯,郑子成,李廷轩. 退耕植茶地土壤团聚体中有机磷组分分布特征[J]. 山地学报, 2017, 35(4): 459—468.
- [9] 余卫,张莉,王启兰. 青藏高原金露梅灌丛草甸土壤质量的微生物学特征[J]. 草地学报, 2016, 24(6): 1248—1253.
- [10] 张震. 草地植物与土壤磷库对施肥和围封的响应[D]. 重庆:西南大学, 2016.
- [11] 王小燕,姚宝辉,张彩军,等. 甘南“黑土滩”型退化草甸土壤理化特性及酶活性季节变化[J]. 草地学报, 2021, 29(2): 220—227.
- [12] 周万海,冯瑞章,满元荣. 黄河源区不同退化程度高寒草地土壤特征研究[J]. 草原与草坪, 2008, 129(4): 24—28.
- [13] 王婷,花蕊,楚彬,等. 高寒草原退化对植物群落及土壤理化性质的影响[J]. 草原与草坪, 2019, 39(4): 65—71.
- [14] 马源,张德罡,周恒,等. 高寒草甸退化对优势物种根际土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 草原与草坪, 2019, 39(4): 44—52.
- [15] 卢虎,姚拓,李建宏,等. 高寒地区不同退化草地植被和土壤微生物特性及其相关性研究[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 34—43.
- [16] Gos P, Loucougaray G, Colace M P, *et al.* Relative contribution of soil, management and traits to co—variations of multiple ecosystem properties in grasslands [J]. *Oecologia*, 2016, 180(4): 1001—1013
- [17] 谭鑫,张宏. 我国高寒草甸土壤磷素研究进展[J]. 草业与畜牧, 2009(3): 1—5.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986.
- [20] 齐文娟. 黄河源区高寒草地土壤微生物数量动态及其与土壤养分关系研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2007.
- [21] 赵帅,张静妮,赖欣,等. 放牧与围封对呼伦贝尔针茅草原土壤酶活性及理化性质的影响[J]. 中国草地学报, 2011, 33(1): 71—76.
- [22] 周华坤,赵新全,温军,等. 黄河源区高寒草原的植被退

- 化与土壤退化特征[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 1-11.
- [23] 周会程, 周恒, 肖海龙, 等. 三江源区不同退化梯度高寒草原土壤重金属含量及其与养分和酶活性的变化特征[J]. 草地学报, 2020, 28(3): 784-792.
- [24] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 等. 石灰岩退化生态系统不同恢复阶段土壤酶活性研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1077-1081.
- [25] 张雨瑶, 李世友. 土壤磷与植物关系研究进展[J]. 世界林业研究, 2013, 26(5): 19-24.
- [26] 代方秀, 杜杏蓉, 李运国, 等. 烤烟连作下不同植烟土壤化学性状与酶活性变化及其相关性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(16): 233-239.
- [27] Harrison A F. Relationship between intensity of phosphatase activity and physic-chemical properties in the woodland soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1983, 15(2): 93-99.

The phosphorus content and alkaline phosphatase activity of different degraded alpine meadow

GAO Ya-jun, LI Ya-juan*, JIANG Zhi-ying, DA Zhao-ling, HU Rui-mei

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Education Ministry, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Fenced grassland (FG), lightly (LD), moderate (MD) and heavily degraded alpine meadow (HD) were selected as the sample site, and the soil total phosphorus, available phosphorus and alkaline phosphatase activity of different grasslands types in the 0~10, 10~20, and 20~30cm soil depth in spring, summer and winter were studied to investigate the effects of alpine meadow degradation on soil phosphorus characteristics and their seasonal dynamics. The results showed that the degradation of alpine meadow had no significant effect on the soil phosphorus content in spring. Soil total phosphorus content in 0~10 cm of degraded alpine meadows in summer increased significantly ($P < 0.05$), but there was no significant differences among three degraded types, but that in 10~20 cm soil depth was significantly decreased in degraded alpine meadows ($P < 0.05$) compared with FG. Soil total phosphorus content of the same type of grassland in the same soil depth showed the highest in winter and the lowest in summer, and that in 0~10 cm soil depth in winter increased by 308.33%, 150%, 176.2%, and 177.3% from FG to HD respectively compared with summer. Soil available phosphorus content in 0~10cm in FG was 30 mg/kg in spring, and it increased gradually from LD to HD. The interactive effect of soil available phosphorus content between seasons and soil depths was extremely significant in FG and HD, but not significant in LD and MD. LD and MD had the highest in summer and the lowest in winter, while HD had the highest available phosphorus content in spring and the lowest in winter, which indicated that degradation had changed the seasonal variation of soil available phosphorus. Soil alkaline phosphatase activity in the same soil depth increased significantly with the degradation degree. Soil alkaline phosphatase activity in 0~10cm soil depth of the same degraded alpine meadow was the lowest in spring, while that of the 10~30cm soil depth in the profile increased significantly both in spring and summer ($P < 0.05$). Correlation analysis revealed that soil alkaline phosphatase activity had a significantly positive correlation with soil available phosphorus content only in winter, which showed that soil alkaline phosphatase activity can be only used to characterize soil available phosphorus status in winter under degradation grassland.

Key words: alpine meadow; degradation; soil phosphorus content; soil alkaline phosphatase