

江河源区不同建植期人工草地土壤养分及微生物量磷和磷酸酶活性研究

冯瑞章^{1,5}, 周万海³, 龙瑞军^{1,2*}, 马玉寿⁴, 齐文娟³

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020; 3. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 青海省畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810003; 5. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:研究了“黑土滩”退化草地上建植的2、4和6龄垂穗披碱草人工草地土壤养分、微生物量磷、中性磷酸酶活性变化以及它们之间的相互关系。结果表明,随建植期的增加,土壤pH值呈现先降低后升高的趋势,人工4龄草地土壤pH值最低,人工6龄草地最高。从时间尺度看,人工2龄草地土壤养分含量、土壤微生物量磷含量和土壤中中性磷酸酶活性较“黑土滩”退化草地明显升高,随着建植期的增加,人工4龄草地各测定指标明显下降,而人工6龄草地各测定指标再次升高。4种草地土壤养分含量、微生物量磷含量和中性磷酸酶活性在土壤剖面中均呈现随土壤深度的增加而递减的趋势。相关分析结果表明,土壤微生物量磷与有机碳、全氮、速效氮和速效钾含量之间呈极显著正相关关系,与全磷含量间呈显著正相关关系;土壤中中性磷酸酶活性与大多数土壤养分呈显著或极显著正相关关系,其中与土壤有机碳的相关系数最大;土壤微生物量磷与中性磷酸酶活性呈极显著正相关关系。

关键词:江河源区;人工草地;土壤养分;微生物量磷;中性磷酸酶

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2007)06-0001-06

江河源区地处青藏高原腹地,是黄河、长江和澜沧江的发源地,素有“三江源”之称,“中华水塔”之美誉,是我国生态环境敏感区和气候变化启动区,同时也是青海省乃至整个青藏高原主要的畜牧业基地,草场面积 $1.6256 \times 10^5 \text{ km}^2$,占该区土地总面积的85.19%^[1-3]。然而,近年来由于过度放牧、鼠虫危害、采挖中草药、采金和伐薪等原因,使天然草地植被严重破坏,生态系统平衡受到损伤,环境日趋恶化,水土流失和土地沙化加剧,大面积次生裸地——“黑土型”退化草地形成^[4,5]。天然草地的严重退化,对以传统放牧为主的高原畜牧业的发展已形成十分明显的抑制作用。由于高寒严酷自然条件制约,仅靠自然恢复植被难度大,所需时间长,发展高效优质人工草地势在必行。但是,采用多年生禾本科牧草建植的人工草地,被利用3~5年后会出现毒杂草侵入和产草量降低的退化现象^[6],为人工草地的持续利用提出挑战。

关于江河源区人工草地的研究主要集中在群落结构及其稳定性和物种多样性方面^[7,8],在土壤方面还缺乏有深度和结论性的研究结果。本研究是不同建植期人工草地土壤理化特性、养分状况和生物学性质等系统研究的一部分内容,重点在于探讨不同建植期人工草地土壤微生物量磷和磷酸酶活性及其与土壤养分之间的关系,以期为高寒地区建植人工草地提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验地设在青海省果洛州大武镇2 km处1牧户承包的草地,位于北纬 $34^{\circ}27.178' \sim 34^{\circ}27.425'$,东经 $100^{\circ}12.262' \sim 100^{\circ}12.437'$,平均海拔3760 m左右。属高原寒冷气候类型,年均温 -3.9°C ,5年积温 850.3°C ,最冷月1月的平均气温 -12.6°C ,最热月7月的平均气温 9.7°C ,牧草生长季156 d,无绝对无霜期。年平均降水量513.12 mm,年蒸发量2471.6 mm。土壤为高山草甸土。

收稿日期:2006-10-10

基金项目:国家自然科学基金(0633072D02)和国家发改委三江源项目(0633072D02)资助。

作者简介:冯瑞章(1978-),女,甘肃古浪人,在读博士。E-mail: ruizhangfeng@126.com

*通讯作者。E-mail: longruijun@sina.com

1.2 试验地及处理

试验以 1999(人工 6 龄草地)、2001(人工 4 龄草地)和 2003 年(人工 2 龄草地)建植的多年生垂穗披碱草(*Elymus nutans*)单播草地为取材基地,以“黑土滩”退化草地为对照。人工草地垂穗披碱草播种量为 45 kg/hm²,同时以 45 kg/hm²磷酸二铵复合肥作为基肥,生长季完全禁牧,在每年的 9 月 - 翌年的 5 月做冬春季放牧草场利用,建植人工草地前为典型的“黑土滩”退化草地。

1.3 采样与分析

于 2005 年 8 月 26 日,分别在人工 2、4 和 6 龄草地及“黑土滩”退化草地按 X 型设置 5 个采样点挖土壤剖面,每个剖面分 0~10、10~20 和 20~30 cm 的深度采集土样,土样混合后带回实验室。样品分成 2 份,一份鲜样去杂、过 2 mm 钢筛后贮藏于 4℃ 的冰箱内,进行土壤微生物量磷测定;另一份风干、去杂、过筛后供土壤磷酸酶活性分析和土壤养分测定。

土壤微生物量磷采用氯仿熏蒸浸提法^[9],中性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定^[10]。土壤有机质采用重铬酸钾容量法 - 外加热法,土壤全氮采用凯氏定氮法,土壤全磷采用硫酸 - 高氯酸消化法,速效钾采用火焰光度法,速效氮采用碱解扩散法;pH 值采用 1.0~2.5 水土比酸度计法测定^[11]。

1.4 数据分析 用 Excel 2000 和 SPSS (13.0) 软件进行数据的统计、分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同建植期人工草地土壤养分变化

通过对 4 种不同草地土壤养分的测定发现“黑土滩”退化草地开垦后建植为人工草地导致各土壤营养物质发生很大变化,并且不同建植期人工草地土壤 pH 值、有机质、全量养分和速效养分等都存在较大差异(表 1)。开垦后的“黑土滩”退化草地随着建植年限增长,0~10 cm 土壤 pH 值呈先降低后升高的趋势。在人工草地建植后第 2 年和第 4 年,土壤 pH 值较“黑土滩”退化草地分别降低 2.0% 和 11.2%,这可能是由于建植人工草地过程中耕作及施肥等因素影响,使土壤的盐碱性在一定程度上降低^[8];但对于人工 6 龄草地,其表层土壤 pH 值显著高于其他草地($P < 0.05$),这可能与人工 6 龄草地植被盖度减小,土壤水分蒸发量增大,有少量碳酸钙聚集到土壤表面有关。

“黑土滩”退化草地建植为人工草地后第 2 年,土壤有机质和全氮含量较建植前显著增加,与“黑土滩”退化草地相比,人工 2 龄草地 0~10、10~20 和 20~30 cm 土壤有机质分别增加 37.5%、47.79% 和 19.6%,各土层全氮相应的分别增加 32.43%、10.01% 和 5.41%;土壤速效钾、速效氮和全磷含量人工 2 龄草地高于“黑土滩”退化草地,这一方面与建植过程中施肥有关,另一方面人工 2 龄草地植被的枯枝落叶提供了丰富的有机物来源,使有机质逐渐发生了积累,从而使得土壤养分含量大幅度升高。人工 4 龄草地 0~10、10~20 和 20~30 cm 土壤有机质含量分别为 2.29%、1.94% 和 1.60%,显著低于人工 2 龄草地和“黑土滩”退化草地($P < 0.05$);该草地各土层土壤全氮含量较“黑土滩”退化草地相应的分别降低 60.87%、90.47% 和 118.75%,较人工 2 龄草地分别降低 113.04%、109.52% 和 131.25%;土壤速效钾、速效氮含量也表现人工 4 龄草地显著低于“黑土滩”退化草地($P < 0.05$),土壤全磷含量虽然略高于“黑土滩”退化草地,但显著低于人工 2 龄草地($P < 0.05$)。这可能是由于优良多年生禾草单播草地虽然在播种后的第 2、第 3 年有数倍于天然草地的产量,但从第 4 年开始便有大量毒杂草入侵,产量大幅度下降,使草地质量变劣^[12],同时,人工 4 龄草地养分含量不高还与草地重用轻养,施入的肥料不足以弥补作物生长消耗量有关。随着建植年限继续增加,对于人工 6 龄草地,土壤的各种养分虽不及人工 2 龄草地高,但均显著高于人工 4 龄草地,其中 0~10 cm 土壤有机质、全氮、全磷含量仅低于人工 2 龄草地而显著高于“黑土滩”退化草地和人工 4 龄草地($P < 0.05$),速效氮和速效钾含量显著高于人工 2 龄草地($P < 0.05$)。Haynes 和 Williams^[13]认为天然草地有机质较改良草地低的原因之一在于后者能够积累大量的干物质,表明尽管地上枯枝落叶部分对土壤有机质的积累非常重要,但通过地下部分大量根系转化的有机质对土壤肥力的积累也很重要。为了适应高寒环境,高海拔地区人工草地群落拥有较大的地下生物量,并且随建植年限增长,地下生物量增加^[7]。所以,人工 6 龄草地土壤养分的再次升高可能与其较高的地下生物量有关,随着建植期的继续增加和地下生物量的积累,大于人工 6 龄草地的土壤养分是否会进一步提高有待研究。同时,4 种草地均表现 0~10

表 1 不同建植期人工草地土壤养分变化

Table 1 Soil nutrients of artificial grasslands sowed in different years

土壤养分	土层深度	黑土滩(CK)	人工 2 年	人工 4 年	人工 6 年
Soil nutrient	Soil depth (cm)	"Heitutan" land	2 years artificial grassland	4 years artificial grassland	6 years artificial grassland
pH 值 pH value	0~10	7.94 ±0.040 0 b	7.78 ±0.080 0 b	7.05 ±0.040 0 c	8.33 ±0.110 0 a
	10~20	8.02 ±0.040 0 b	8.12 ±0.010 0 b	7.33 ±0.020 0 c	8.41 ±0.030 0 a
	20~30	8.22 ±0.060 0 b	8.28 ±0.030 0 b	8.15 ±0.050 0 b	8.52 ±0.070 0 a
土壤有机质 Soil organic matter (%)	0~10	2.75 ±0.003 2 c	4.29 ±0.052 3 a	2.29 ±0.068 7 d	3.12 ±0.023 7 b
	10~20	2.49 ±0.005 7 c	3.68 ±0.021 0 a	1.94 ±0.054 2 d	2.23 ±0.038 5 c
	20~30	2.34 ±0.036 2 c	2.80 ±0.047 7 a	1.60 ±0.017 8 d	1.91 ±0.057 5 c
土壤全氮 Soil total N (%)	0~10	0.37 ±0.024 9 b	0.49 ±0.041 7 a	0.23 ±0.024 9 d	0.33 ±0.036 2 c
	10~20	0.40 ±0.048 3 b	0.44 ±0.026 3 a	0.21 ±0.041 7 d	0.24 ±0.021 9 c
	20~30	0.35 ±0.016 2 b	0.37 ±0.003 7 a	0.16 ±0.036 2 d	0.20 ±0.024 1 c
土壤全磷 Soil total P (%)	0~10	0.12 ±0.001 0 d	0.22 ±0.017 5 a	0.14 ±0.004 5 c	0.16 ±0.002 9 b
	10~20	0.12 ±0.005 0 c	0.20 ±0.004 2 a	0.13 ±0.003 7 c	0.15 ±0.008 4 b
	20~30	0.13 ±0.001 3 c	0.17 ±0.011 7 a	0.14 ±0.003 6 b	0.14 ±0.005 5 b
土壤速效氮 Soil available N (mg/kg)	0~10	21.28 ±1.059 6 b	30.89 ±1.025 1 a	18.29 ±1.153 2 c	20.72 ±0.464 6 b
	10~20	20.10 ±0.714 4 b	26.16 ±0.696 6 a	16.45 ±0.118 4 c	16.39 ±0.324 4 c
	20~30	20.80 ±1.000 5 b	31.28 ±0.387 0 a	12.07 ±0.419 2 d	14.38 ±0.615 3 c
土壤速效钾 Soil available K (mg/kg)	0~10	125.9 ±0.037 4 b	178.4 ±2.936 9 a	91.1 ±2.908 6 c	129.9 ±0.128 5 b
	10~20	83.5 ±2.938 0 b	143.2 ±0.042 5 a	62.4 ±2.906 8 c	87.3 ±2.941 6 b
	20~30	70.6 ±2.940 8 c	135.3 ±5.757 8 a	60.3 ±0.046 9 d	79.1 ±2.948 2 b

注:同行数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: For each row data, the different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

cm 的营养物质含量最高,20~30 cm 的含量最低,这表明 4 种草地 0~30 cm 的养分含量随土层的加深呈降低的趋势。

2.2 不同建植期人工草地微生物量磷变化

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力。它所含的养分是植物生长所需养分的一个重要来源^[14]。Brookes 等^[15]的研究表明,对于草地土壤每年经微生物释放的氮和磷的数量等于或大于植物吸收的氮和磷数量。不同草地 0~10 cm 土壤微生物量磷大小顺序为:人工 2 龄草地 > “黑土滩”退化草地 > 人工 6 龄草地 > 人工 4 龄草地(图 1)。“黑土滩”退化草地 0~10,10~20 和 20~30 cm 土壤微生物量磷分别为 4.61,3.24 和 3.10 mg/kg,而人工 2 龄草地不同土层土壤微生物量磷依次分别为 8.62,4.77 和 3.68 mg/kg,较“黑土滩”退化草地各土层分别增加 86.98%,47.22%和 18.70%,表明“黑土滩”退化草地经开垦建植为人工草地初期土壤微生物量磷显著增加,随着建植年限的增加,土壤微生物量磷含量下降,人工 4 龄草地 0~10,10~20 和 20~30 cm 土壤微生物量磷含量较“黑土滩”退化草地各土层分别减少 101.31%,101.24%和 222.89%。然而,随着建植期的继续延伸,土壤微生物量磷含量又呈现回升趋势,人工 6 龄草地土壤微生物量磷含量虽不及人工 2 龄草地和“黑土滩”退化草地高,但相对于人工 4 龄草地,0~10,10~20 和 20~30 cm 分别增加 82.61%,14.29%和 24.10%。微生物的生长、活动与土壤有机质含量密切相关,因为土壤有机质可为微生物生长和繁殖提供能量物质^[16],人工 4 龄草地较低的营养物质含量而这些营养物质在人工 6 龄草地相对回升是导致它们之间微生物量磷差异的主要原因。与大多土壤微生物量的剖面分布相似,4 种草地不同取样深度的土壤微生物量磷含量均表现为 0~10 > 10~20 > 20~30 cm,表明 4 种草地 0~30 cm 的土壤微生物量磷含量随土层的加深呈降低的趋势。表层土壤适宜的水热条件、较低的盐碱化程度以及良好的通气状况更能满足微生物代谢与繁殖的需要,这为促进土壤微生物累积

磷素提供有利条件^[17]。同时,土壤有机质与土壤微生物活性相关,试验区表层土壤具有更丰富的营养物质,这可能是促进表层土壤微生物量磷含量较高的又一因素^[18]。

2.3 不同建植期人工草地中性磷酸酶活性变化

土壤中中性磷酸酶是植物根系与微生物的分泌产物,它在土壤磷转化中起一定作用,也是土壤磷肥力的指标之一^[19]。特别对于有效磷含量普遍很低的江河源地区,土壤磷酸酶更是表征土壤磷肥力的重要指标。“黑土滩”经开垦建植为人工草地后,随建植年限增加,土壤中中性磷酸酶活性呈“N”状结构,不同草地的土壤磷酸酶活性大小顺序为:人工2龄草地>人工6龄草地>“黑土滩”退化草地>人工4龄草地(图2)。在建植人工草地前,“黑土滩”退化草地土壤磷酸酶活性较低,0~10,10~20和20~30 cm土壤磷酸酶活性分别为77.4,50.9和19.5 mg/kg。建植人工草地后,土壤中中性磷酸酶活性显著增加,人工2龄草地较“黑土滩”退化草地相应的分别升高105.17%,91.36%和33.33%;然而,人工4龄草地各土层较“黑土滩”退化草地相应降低93.09%,139.86%和19.62%,该草地各土层中性磷酸酶活性处于4种草地最低水平;人工6龄草地土壤中中性磷酸酶活性分别为95.6,54.7和20.5 mg/kg,虽不及人工2龄草地高,但显著高于人工4龄草地和“黑土滩”退化草地($P < 0.05$)。许多研究表明,土壤酶活性与土壤的理化性状及其养分含量密切相关,尤其与有机质及全氮的含量相关性最高^[20,21],土壤养分尤其是有机质是土壤微生物的碳源和氮源,而土壤微生物的种类和数量又在某种程度上决定土壤酶的来源,所以,本研究中4种草地土壤磷酸酶活性大小分布很大程度上是土壤营养物质分布的结果。同时有研究表明,土壤酶活性在土壤剖面中的分布随深度的增加而降低^[18,22,23]。本研究中,4种草地土壤0~10 cm中土壤中中性磷酸酶的活性均大于10~20和20~30 cm土层,这主要是由于土壤表层积累了较多的枯枝落叶和腐殖质,有机质含量高,有充分的营养源支持微生物的生长,加之水热条件且通气状况好,使微生物生长旺盛、代谢活跃和呼吸强度加大,从而使表层的土壤酶活性较高。随着土壤剖面的加深,土壤容重变大,孔隙度变小,限制了土壤生物的正常活动;有机质也随土层的加深而急剧下降,pH值变大,土壤地下生物量也随之下降。土壤温度的降低及土壤水分的减少,限制了土壤生物的代谢产酶能力。由于这些因素的综合作用,使得土壤酶活性随着土层的加深而逐渐降低^[24]。

2.4 微生物量磷与土壤养分的关系

将土壤微生物量磷与土壤pH值、有机质、全氮、全磷、碱解氮和速效钾进行相关分析,结果表明,土壤微生物量磷与有机质、全氮、速效氮和速效钾含量之间呈极显著正相关($P < 0.01$),与全磷含量间呈显著正相关($P < 0.05$) (表2)。土壤微生物量磷与土壤有机质的相关性系数最大,说明土壤有机质是土壤微生物生活和繁殖所需养分的储藏所和重要来源;同时全氮、速效氮和速效钾的聚积也为微生物的生活提供了条件;土壤微生物量磷与土壤全磷之间的显著相关性为该地区土壤磷状况的判断提供了一条生物学途径^[19],同时也可为提高磷肥肥效提供依据,说明在江河源区可通过施肥增加土壤微生物量磷,促进土壤全磷的增加,磷的周转和循环,提高磷的有

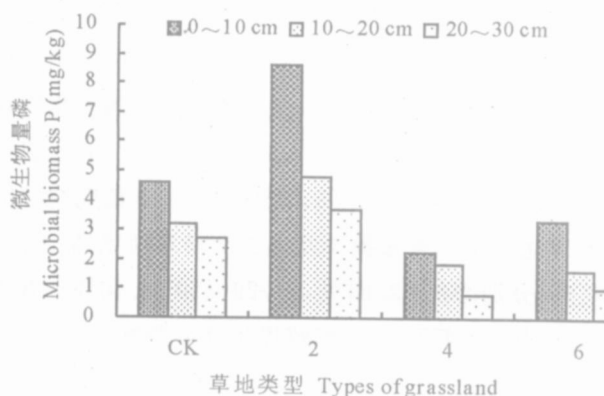


图1 不同建植期人工草地微生物量磷含量

Fig. 1 Microbial biomass P of artificial grasslands sowed in different years

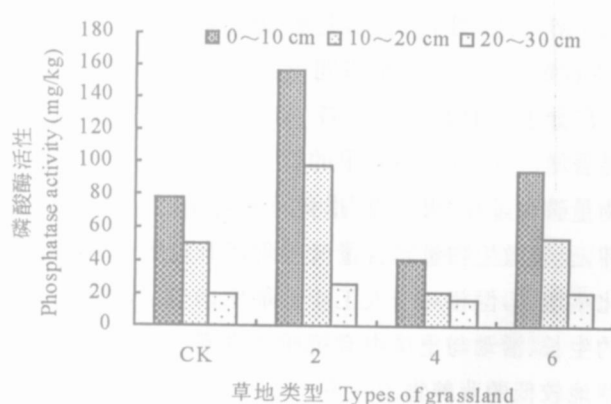


图2 不同建植期人工草地土壤中中性磷酸酶活性

Fig. 2 Neutral phosphatase activity of artificial grasslands sowed in different years

表 2 微生物量磷、中性磷酸酶与土壤养分相关关系

Table 2 Relationship between microbial biomass P, neutral phosphatase activity and soil nutrients

项目 Item	pH 值 pH value	有机质 Organic matter (%)	全氮 Total N (%)	全磷 Total P (%)	速效氮 Available N (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
微生物量磷 Microbial biomass P	- 0.019	0.863 **	0.733 **	0.556 *	0.632 **	0.775 **
中性磷酸酶活性 Neutral phosphatase activity	0.002	0.788 **	0.526 *	0.512 *	0.354	0.740 **

* 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。* indicate the difference at $P < 0.05$ level, ** indicate the difference at $P < 0.01$.

效性,以满足植物生长的需要,但土壤微生物量磷与 pH 值几乎没有相关性,土壤 pH 值可能通过其他过程间接影响微生物量磷含量。

2.5 中性磷酸酶活性与土壤养分的关系

对土壤中中性磷酸酶活性与主要营养物质含量进行相关分析结果表明(表 2),土壤中中性磷酸酶与大多数土壤养分呈极显著正相关关系,其中与土壤有机质的相关系数最大,这是因为有机质是土壤微生物碳和氮的主要来源,而土壤微生物是磷酸酶的主要来源,所以有机质的含量越高则磷酸酶的活性越高;另一方面,全氮主要来源于有机质,全氮和磷酸酶活性的相关性与有机质表现出了一致性^[23]。分析土壤微生物量磷和中性磷酸酶活性的相关关系发现,二者呈极显著正相关,其方程 $y = 0.0446x + 0.652$ ($n = 12$, $r = 0.905$, $P < 0.01$)。

3 结论

3.1 江河源区“黑土滩”退化草地经开垦建植为人工草地后 4 龄草地的土壤 pH 值最小,6 龄草地的 pH 值最大;随着建植期的增加,土壤有机质、全氮、全磷、速效氮和速效钾呈相同的变化趋势,即人工草地建植初期土壤肥力明显升高;随着建植年限的增加,土壤养分含量明显下降,除全磷含量外,其他指标均低于“黑土滩”退化草地;如果建植年限继续增加,各测定指标含量又再次升高。

3.2 “黑土滩”退化草地经开垦建植为人工草地后,随建植期的增加,微生物量磷含量和中性磷酸酶活性呈现与土壤养分相同的变化趋势;且 4 种草地土壤营养物质、微生物量磷含量和中性磷酸酶活性在土壤剖面中的分布规律相似,即随土壤深度的增加而递减。

3.3 土壤微生物量磷与有机质、全氮、速效氮和速效钾含量之间呈极显著正相关($P < 0.01$),与全磷含量间呈显著正相关($P < 0.05$)(表 2);磷酸酶与大多数土壤养分因子和微生物量磷呈显著或极显著正相关关系。

参考文献:

- [1] 刘迎春. 江河源生态环境对其流域的影响[A]. 中国青藏高原研究会,青海省科学技术委员会,青海资源环境与发展研讨会论文集[C]. 北京:气象出版社,1996. 91-94.
- [2] 周兴民,王质彬,杜庆. 青海植被[M]. 西宁:青海人民出版社,1986.
- [3] 董全民,赵新全,马玉寿. 江河源区披碱草和星星草混播草地土壤物理性状对牦牛放牧强度的响应[J]. 草业科学,2005,22(6): 65-70.
- [4] 马玉寿,郎百宁,杨海明. 在黑土型退化草地上提高牦牛生产力的途径[J]. 中国草地,1998,4: 61-63.
- [5] 王启基,景增春,王文颖. 青藏高原高寒草甸草地资源环境及可持续发展研究[J]. 青海草业,1997,6(3): 1-11.
- [6] 张耀生,赵新全. 高寒牧区中华羊茅人工草地退化演替的数量特征研究[J]. 应用生态学报,2002,13(3): 285-289.
- [7] 王长庭,龙瑞军,施建军. 高寒地区不同建植期人工草地群落垂直结构和生产力变化的研究[J]. 中国草地,2005,27(5): 16-21.
- [8] 史惠兰,王启基,景增春. 江河源区人工草地及“黑土滩”退化草地群落演替与物种多样性动态[J]. 西北植物学报,2005,25(4): 655-661.
- [9] Olsen S R, Sommers L E. Phosphorous[A]. In: Page A L, Miller R H, Keeney D R. Methods of Soil Analysis (Part 2): Chemical and Microbiological Properties[C]. Madison: SSSA Publ. Inc., 1982. 403-430.

- [10] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶测定方法探讨[J]. 土壤通报, 1986, (3): 138-141.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 王刚, 蒋文兰. 人工草地种群生态学研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1998.
- [13] Haynes R J, Williams P H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem[J]. *Advance in Agronomy*, 1993, 49: 119-123.
- [14] Jenkinson D S, Ladd J N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1981, (5): 415-421.
- [15] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Phosphorus in the soil microbial biomass[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1984, 16: 169-175.
- [16] Li Y S, Wu L H, Lu X H. Soil microbial biomass as affected by non-flooded plastic mulching cultivation in rice[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 43(1): 107-111.
- [17] 张乃莉, 郭继勋. 松嫩草甸寸草苔群落土壤微生物量磷的初步研究[J]. 草业学报, 2006, 15(5): 19-24.
- [18] 郝长红, 杨建中, 颜丽, 等. 沈阳东陵古松根区土壤磷酸酶活性与土壤养分的关系[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 194-196.
- [19] 谢林花, 吕家琰, 张一平. 长期不同施肥对石灰性土壤微生物量磷及磷酸酶的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 65-68.
- [20] 黄世伟. 土壤酶活性与土壤肥力[J]. 土壤通报, 1981, (4): 37-39.
- [21] 何斌. 广西英罗港不同红树植物群落土壤理化性质与酶活性的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 21-26.
- [22] 袁霞, 何斌. 八角林地土壤酶活性和养分的分布特点及其相关分析[J]. 经济林研究, 2004, 22(2): 10-13.
- [23] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 坡向坡位和撂荒地对云雾山草地土壤酶活性的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(1): 87-93.
- [24] 谈嫣蓉, 蒲小鹏. 不同退化程度高寒草地土壤酶活性研究[J]. 草原与草坪, 2006, (3): 20-22

Study on the changes of soil nutrients, microbial biomass P and neutral phosphatase activity of artificial grassland sown in different years in the headwaters of the Yangtze and Yellow Rivers

FEN G Rui-zhang^{1,5}, ZHOU Wan-hai³, LONG Rui-jun^{1,2}, MA Yu-shou⁴, QI Wen-juan³

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xi 'ning 810008, China; 2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China;

3. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

4. Qinghai Academy of Animal and Veterinary Sciences, Xi 'ning 810003, China;

5. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract : The dynamic changes in soil nutrients, soil microbial biomass P, neutral phosphatase activity and the relationships between them and *Elymus nutans* artificial grassland constructed on "heitutan land" degenerated pasture sown in different years were studied. Compared to the "black soil type" degraded pasture, soil had lower pH values in 2 and 4 year old artificial grasslands, and the highest pH value was in 6 year old artificial grassland. The soil nutrients, soil microbial biomass P and neutral phosphatase activity were significantly higher in 2 year old artificial grassland than in the "black soil type" degenerated pasture. However all of them decreased in 4 year old artificial grassland but increased again in 6 year old artificial grassland. The experimental results showed that the profiles of the soil nutrients, soil microbial biomass P and neutral phosphatase activity were taken on the distribution of decreasing. Correlation analysis showed that soil microbial biomass P was significantly positively related to the soil organic matter content, total N, available N, available K ($P < 0.01$), and total P ($P < 0.05$). Neutral phosphatase activity was also significantly positively correlated to the soil nutrients and soil microbial biomass P.

Key words : the headwaters of the Yangtze and Yellow Rivers; artificial grassland; soil nutrients; soil microbial biomass P; neutral phosphatase activity