

# 三江源地区不同建植期人工草地植被特征及其与土壤特征的关系<sup>\*</sup>

王长庭<sup>1</sup> 曹广民<sup>1</sup> 王启兰<sup>1</sup> 施建军<sup>3</sup> 杜岩功<sup>1,4</sup> 龙瑞军<sup>2\*\*</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; <sup>2</sup>兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730070; <sup>3</sup>青海省畜牧兽医科学院草原研究所, 西宁 810016; <sup>4</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要** 研究了三江源地区不同建植期人工草地群落生物量、物种组成、多样性指数和土壤理化特征,并用多元逐步回归分析法探讨了土壤理化特征对群落生物量、多样性变化的响应。结果表明:研究区不同建植期人工草地植物群落的种类组成、植物功能群组成和群落数量特征存在显著差异;土壤含水量随着物种多样性指数的增加而增加,土壤容重随着物种多样性的增加而减小;土壤微生物生物量碳与土壤含水量、土壤有机质呈极显著正相关,与土壤容重呈极显著负相关;土壤有机碳含量明显呈“V”字型变化,且与土壤含水量的变化趋势相一致,随土壤容重的增加而减少;群落生物量与土壤养分和土壤含水量之间呈显著正相关,群落地上、地下生物量的增加有利于提高土壤养分含量。

**关键词** 三江源区 植被演替 土壤特征 人工草地

**文章编号** 1001-9332(2007)11-2426-06 **中图分类号** Q145<sup>+</sup>.2 **文献标识码** A

**Characteristics of artificial grassland plant communities with different establishment duration and their relationships with soil properties in the source region of Three Rivers in China.**

WANG Chang-ting<sup>1</sup>, CAO Guang-min<sup>1</sup>, WANG Qi-lan<sup>1</sup>, SHI Jian-jun<sup>3</sup>, DU Yan-gong<sup>1,4</sup>, LONG Rui-jun<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; <sup>2</sup>College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730070, China; <sup>3</sup>Institute of Grassland, Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science, Xining 810016, China; <sup>4</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18 (11): 2426-2431.

**Abstract:** This paper studied the biomass, species composition, and diversity index of artificial grassland plant communities with different establishment duration in the source region of the Three Rivers, and examined the relationships of soil physical and chemical properties with the changes of the plant community biomass and species diversity. The results showed that the species composition, functional group composition, and quantitative characters of the plant communities varied greatly. Soil moisture content increased with increasing species diversity, while soil bulk density was in adverse. Soil microbial biomass carbon significantly positively correlated with soil moisture and organic matter contents, but negatively correlated with soil bulk density. Soil organic carbon content had a "V" type change, which was consistent with the change pattern of soil moisture content, and decreased with increasing soil bulk density. Plant community biomass had significant positive correlations with the contents of soil nutrients and moisture, and the increase of the above- and below-ground biomass of plant communities promoted the increase of soil nutrient contents.

**Key words:** source region of the Three Rivers; plant community succession; soil properties; artificial grassland

\*中国科学院“百人计划”项目、国家自然科学基金项目(30371021, 40471133)和中国科学院野外台站基金资助项目。

\*\*通讯作者。E-mail: longruijun@sina.com.cn

2006-12-18收稿, 2007-08-29接受。

## 1 引言

草地退化对全球生态安全、环境质量及社会发展的负面影响日益严重,从恢复生态学角度研究退化草地生态系统的恢复与重建对策,尤其是人工草地的建立已成为研究草原生态问题的重要组成部分,并将继续成为21世纪国际环境科学界关注的热点问题<sup>[10]</sup>。一些畜牧业发达国家(如新西兰、澳大利亚、美国等)的人工草地比例很大,是草地资源的主要组成部分。在生产实践中,如何维护高效、持久的人工草地,提高人工草地的初级生产力和经济价值并保证草地质量已成为研究人工草地的关键,也是恢复与重建江河源区严重退化“黑土滩”草地的重要手段之一。在三江源区,常采用老芒麦(*Elymus sibiricus*)、垂穗披碱草(*E. nutans*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)等多年生牧草建植人工草地,取得了较好的经济效益和生态效益<sup>[8]</sup>。但是,采用多年生禾本科牧草建植的人工草地利用3~5年后,因管理和利用不当(如放牧等)出现了特征不一的不同演替阶段的植被类型,特别是建植后5~8年间的人工草地由于放牧压力过大导致群落向逆向演替发展(包括土壤的逆向演替)。

在青藏高原高寒牧区,由于冷季漫长、牧草生长期短暂、牧草生长和放牧需求季节不平衡,导致放牧家畜冷季掉膘严重,畜牧业经营效益难以提高,尤其是雪灾之年常导致牲畜成批死亡,造成巨大的损失<sup>[13]</sup>。对于退化的草地生态系统,特别是人为干扰非常严重的地方,土壤肥力严重下降、土壤种子库中原来优势种的存活种子太少,仅靠自然恢复是相当缓慢的<sup>[6]</sup>,需靠人工促进其恢复过程。这就需要通过改善土壤物理性状、适时施肥而改善土壤的营养状况,以保持草原生态系统物质输入和输出间的平衡<sup>[5]</sup>。为此,本文研究了三江源地区不同建植期人工草地的植被结构与功能以及土壤养分的变化规律,并探讨了不同建植期人工草地植被与土壤因子之间的关系,以期为研究区草地的恢复和重建提供科学依据。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 自然概况

研究区位于青海省果洛州达日县和玛沁县(32°31'—35°38' N, 96°54'—101°59' E),平均海拔4200 m,属典型的高原大陆性气候,无四季之分,仅有冷暖气之别。冷季较长、干燥而寒冷,持续时间达7~8

个月;暖季短暂而凉爽,长4~5个月。温度年差较小而日差较大,太阳辐射强烈。年均气温 $\frac{3}{\text{月}}$ 1.3,月平均最高气温24.6,月平均最低气温 $\frac{3}{\text{月}}$ 34.5。年均降水量420~560 mm,多集中在5—9月,年蒸发量1119.07 mm,无绝对无霜期。土壤为高山草甸土和高山灌丛土。小嵩草草甸为该地区主要的冬春草场,建群种为小嵩草(*Kobresia pygmaea*),主要伴生种有矮嵩草(*Kobresia humilis*)、异针茅(*Stipa aliena*)、羊茅(*Festuca ovina*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、双叉细柄茅(*Ptilagrostis dichotoma*)、细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)等。

### 2.2 研究方法

2.2.1 野外调查与取样 分别选择青海省果洛州玛沁县军牧场、达日县窝赛乡的4个研究区域,建植期分别为4年、7年、9年、12年的人工草地为试验样地,样地面积均为50 m × 50 m,4块人工草地均为垂穗披碱草+冷地早熟禾+星星草(*Puccinellia tenuiflora*)混播地,土壤均为高山草甸土。

2004—2005年8月中下旬在上述4个样地内分别随机选取10个50 cm × 50 cm样方进行植物群落特征(所有植物种的分盖度、高度和频度,以及植物群落的盖度)调查,然后齐地面分种剪草,烘干称量。剪去植物地上部分后在50 cm × 50 cm样方的中心区域划出25 cm × 25 cm样方,采用挖掘法<sup>[14]</sup>采集植物地下根系(0~40 cm),清水冲洗干净后烘干称量。

2.2.2 土壤理化性质测定 2004—2005年8月在25 cm × 25 cm样方中,采集植物地下根系的同时,用土壤剖面法分层采集土壤样品(0~40 cm),过2 mm筛,保存于4℃冰箱中,用于微生物生物量、土壤酶活性的测定。用土钻钻取10个样点(样点呈“V”字形排列,样点间距2 m)0~40 cm土壤,10个样点的土样混合成1个500 g的土壤样品,风干后测定土壤有机质、全氮、速效氮、全磷和速效磷含量。

全磷采用钼锑抗比色法、速效磷采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法、全氮和速效氮采用凯氏法和康维皿法、有机质含量采用丘林法测定。微生物生物量碳的测定采用灭菌提取法<sup>[12]</sup>。土壤纤维素分解酶、蔗糖酶、多酚氧化酶、脲酶、蛋白酶、磷酸酶、过氧化氢酶的测定采用比色法<sup>[4]</sup>。土壤容重用环刀法测定,土壤体积含水量用烘干法测定。pH值采用电位法测定。

2.2.3 数据分析 生物多样性指数<sup>[7]</sup>包括:

丰富度指数:  $R = S$

群落多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

均匀度指数采用 Pielou 指数:

$$J = \left( \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \right) / \ln S$$

式中:  $P_i$  为种  $i$  的相对重要值 (相对高度 + 相对盖度 + 相对频度) / 3;  $S$  为种  $i$  所在样方的物种总数.

试验数据均采用 SPSS 软件进行统计分析.

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同建植期人工草地植被特征

通过对群落数量特征的调查分析表明,不同建植期人工草地植物群落的种类组成、植物功能群组成和群落数量特征存在显著差异 (表 1、表 2). 随着演替时间的推移,人工草地群落盖度、高度、物种数、生物量和多样性指数均表现出“V”字型变化规律,即 7 年、9 年人工草地群落的数量特征值减小. 不同建植期人工草地群落植物功能群组成及其比例显著不同,4 年草地群落主要由禾本科和杂类草植物组成,禾本科植物群落生物量占群落生物量的 83.51%、杂类草植物占 16.49%;7 年草地群落仅由杂类草植物组成;9 年草地群落由禾本科和杂类草植物组成,禾本科植物群落生物量仅占群落生物量的 4.08%、杂类草植物占 95.91%;12 年草地群落组成明显发生了改变,大量的禾本科、莎草科植物入侵,其比例为 48.71%、27.2%,杂类草植物明显减少,其比例则为 24.1%.

#### 3.2 不同建植期人工草地土壤特征

土壤是植物生长的基质,其理化特性决定着植物群落类型的分布,同时植物群落又反作用于土壤,逐步改善其生境条件,使群落得以发展. 不同建植期人工草地群落其土壤特征存在一定差异 (表 3). 土壤含水量、土壤容重等表征土壤结构状况和水源涵养功能的物理性质指标,在演替过程中 (7 年、9 年草地) 逐渐降低,到一定时期又逐步增加;同样土壤有机质、氮素和磷素等土壤主要的养分指标与土壤含水量、土壤容重的变化趋势相一致,说明人工草地在由于干扰而引起的退化演替过程中,大量毒杂草植物的入侵并不意味着草地完全退化和毫无放牧利用价值. 因为大量杂类草的入侵和繁衍,植物种在群落中的适合度有所提高,特别是克隆植物通过强大的克隆繁殖功能,形成一些密集的匍匐茎网状结构,提高了植被覆盖度,减少了土壤水分的蒸发,这在一定程度上阻止了植物群落向盖度很低、容易沙化的极度退化 (“黑土滩”) 阶段演替.

#### 3.3 不同建植期人工草地土壤微生物生物量碳与土壤特征的关系

土壤微生物是土壤中物质循环的调节者,同时也是有机物质库和速效养分的一部分,其生物质量被称为土壤微生物量. 土壤微生物量既是土壤有机质和土壤养分转化循环的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库<sup>[4]</sup>. 不同建植期人工草地群落土壤微生物生物量碳与土壤含水量、土壤有机质呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ); 与土壤容重呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ ) (图 1). 在人工草地植物群落的演替过程中,群落生物量在 7 年、9 年草地中较低,4 年、12 年草地的群落生物量则较高 (表 1、表 2),

表 1 不同建植期人工草地群落的数量特征

Tab 1 Quantitative characteristics of artificial grassland at different cultivated periods (mean  $\pm$ SD)

群落建植年龄 Community age (a)	盖度 Coverage (%)	高度 Height (cm)	物种数 Number of species	地上生物量 Aboveground biomass ( $g \cdot m^{-2}$ )	地下生物量 Underground biomass ( $g \cdot m^{-2}$ )	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Pielou 指数 Pielou's index
4	85a	41.35a	6.50 $\pm$ 1.38c	440.95 $\pm$ 32.23a	1296.92 $\pm$ 63.92a	2.2019b	0.8583b
7	50d	21.33c	6.00 $\pm$ 0.89c	182.73 $\pm$ 24.17c	454.90 $\pm$ 58.19b	2.2117b	0.8356b
9	56c	22.58c	8.33 $\pm$ 1.37b	219.88 $\pm$ 6.86bc	505.06 $\pm$ 40.49b	2.2045b	0.8426b
12	80b	35.37b	19.67 $\pm$ 1.63a	255.01 $\pm$ 22.55b	1190.61 $\pm$ 67.32a	2.7292a	0.9626a

同列不同字母表示数据间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level 下同 The same below.

表 2 不同建植期人工草地群落植物功能群生物量的变化

Tab 2 Change of plant functional group biomass of artificial grassland at different cultivated periods (mean  $\pm$ SD,  $g \cdot m^{-2}$ )

群落建植年龄 Community age (a)	禾本科 Grass	莎草科 Sedges	杂类草 Forbs	群落生物量 Community biomass
4	368.22 $\pm$ 19.23a	-	72.73 $\pm$ 6.35c	440.95 $\pm$ 32.23a
7	-	-	182.73 $\pm$ 24.17b	182.73 $\pm$ 24.17d
9	8.96 $\pm$ 2.21c	-	210.88 $\pm$ 7.46a	219.88 $\pm$ 6.86c
12	124.21 $\pm$ 16.76b	69.36 $\pm$ 16.31	61.44 $\pm$ 8.83d	255.01 $\pm$ 22.55b

表 3 不同建植期人工草地群落的土壤理化性质

**Tab 3 Soil physico-chemical property (0-40 cm) of artificial grassland at different cultivated periods (mean ±SD)**

群落建植 年龄 Community age (a)	容重 Soil bulk density (g · cm <sup>-3</sup> )	土壤含水量 Soil moisture (%)	pH	土壤有机质 Soil organic matter (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen (g · kg <sup>-1</sup> )	速效氮 Available nitrogen (mg · kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total phosphor (g · kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphor (mg · kg <sup>-1</sup> )
4	1.34 ±0.111b	20.14 ±0.44b	7.76 ±0.04a	105.63 ±5.78a	2.22 ±0.23a	19.28 ±1.56a	0.81 ±0.20a	4.85 ±0.29a
7	1.53 ±0.06a	10.41 ±0.42d	6.53 ±0.010b	75.22 ±3.86c	1.34 ±0.11c	10.50 ±0.79b	0.60 ±0.11b	2.87 ±0.19b
9	1.51 ±0.11a	13.81 ±1.03c	6.50 ±0.02b	65.11 ±3.77d	1.16 ±0.10c	9.70 ±1.18b	0.52 ±0.10b	2.90 ±0.42b
12	1.17 ±0.06c	26.07 ±1.18a	6.36 ±0.02b	84.84 ±5.87b	1.88 ±0.11b	18.27 ±1.10a	0.61 ±0.11b	4.80 ±0.64a

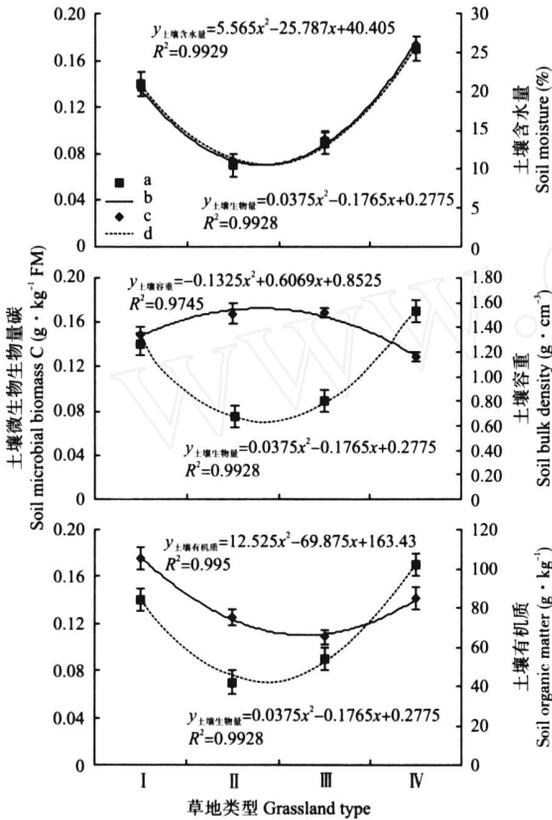


图 1 不同建植期人工草地土壤微生物量碳与主要土壤特征的关系

**Fig 1** Correlation of soil microbial biomass carbon and mainly soil property of artificial grassland at different cultivated periods : 4年草地 4-year grassland; : 7年草地 7-year grassland; : 9年草地 9-year grassland; : 12年草地 12-year grassland a)微生物碳实测值 Measured value of microbial biomass C; b)土壤含水量拟合曲线 Fitted curve of soil moisture; c)土壤含水量实测值 Measured value of soil moisture; d)微生物量碳拟合曲线 Fitted curve of microbial biomass C.下同 The same below.

同样的结果也存在于土壤肥力(土壤有机质、氮素和磷素)中(表 3),说明植被与土壤之间是一种相互依赖和制约的关系。

### 3.4 不同建植期人工草地土壤总有机碳与土壤特征的关系

土壤中的有机碳量是由进入土壤中的植物残体量和在土壤微生物作用下分解的动植物残体的量所

组成。在自然条件下,人类活动影响着草地生态系统的结构、功能和进入土壤的动植物残体数量,同样也影响到土壤碳循环和土壤碳稳定性。例如,过度放牧会使高寒草甸的植被稀疏;增加土壤温度和土壤呼吸强度会使土壤有机碳储量逐渐降低<sup>[23]</sup>。随着演替的进展,不同建植期人工草地的土壤总有机碳含量明显呈“V”字型变化,且与土壤含水量的变化趋势相一致,随土壤容重的增加而减少(图 2)。这与 4年、12年草地的根系较多而致密,7年、9年草地的群落物种组成和功能群组成单一、地下根系锐减(表 1、2)密切相关。因此,土壤有机碳含量可作为衡量土壤肥力、土壤质量和土壤退化程度的重要指标。

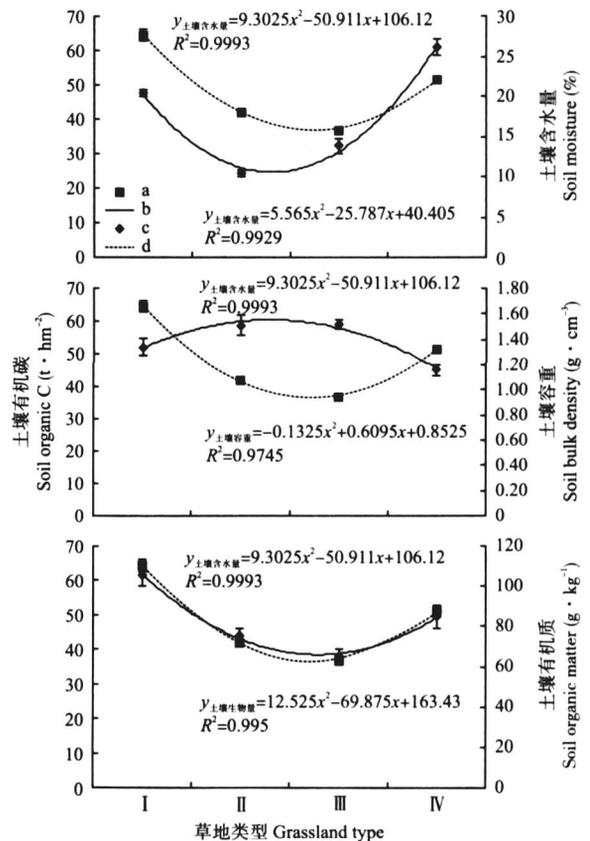


图 2 不同建植期人工草地土壤有机碳与主要土壤特征的关系

**Fig 2** Correlation of soil microbial biomass carbon and mainly soil property of artificial grassland at different cultivated periods

### 3.5 不同建植期人工草地群落生物量、物种数与主要土壤因子的相关性

在自然状态下,群落的生物量、物种数不仅取决于群落的结构特征和功能,还反映群落在演替过程中土壤特征和土壤资源的持续供给能力.因此,分析群落生物量、物种数与土壤特征、土壤资源的供给水平之间的相关关系,用以解释和说明植被变化和土壤演化的内在联系则更有意义.运用偏相关分析探讨不同演替阶段人工草地土壤容重( $X_1$ )、土壤含水量( $X_2$ )、土壤有机质( $X_3$ )、全氮( $X_4$ )、速效氮( $X_5$ )、全磷( $X_6$ )、速效磷( $X_7$ )、土壤总有机碳( $X_8$ )、土壤微生物生物量碳( $X_9$ )与生物量( $Y_a$ ) (地上生物量、地下生物量之和)、物种数( $Y_b$ )间的相关性,结果表明:不同建植期人工草地群落生物量与土壤养分(土壤有机质、速效氮、全磷、速效磷、土壤总有机碳、土壤微生物生物量碳)和土壤含水量之间存在显著的正相关关系( $P < 0.01$ ) (表 4),群落生物量(地上、地下生物量)的增加有利于提高土壤养分含量.与 4年、7年、9年草地相比,12年草地群落的物种组成、Shannon-Wiener指数(2.7292)和 Pielou 指数(0.9626)均有所提高(表 1),相应的土壤养分含量也明显增加(除 4年草地,因 4年草地在种植的第 1、2年施过肥).物种数也受到土壤有机质、土壤全氮、土壤全磷、土壤有机全碳、土壤微生物生物量碳和土壤含水量的影响(表 5).

表 4 不同建植期人工草地生物量与土壤特征的偏相关系数

Tab 4 Partial coefficient between biomasses and soil properties of artificial grassland at different cultivated periods

群落建植年龄 Community age (a)	偏相关关系 Partial correlation	偏相关系数 Partial coefficient	$t$	$P$
4	$r(y, X_2)$	0.9949	9.8704	0.0101
	$r(y, X_3)$	0.9992	25.2749	0.0016
	$r(y, X_5)$	0.9941	9.1291	0.0118
	$r(y, X_7)$	0.9997	42.9519	0.0005
	$r(y, X_2)$	0.9991	23.2570	0.0018
7	$r(y, X_6)$	0.9962	11.4393	0.0076
	$r(y, X_7)$	0.9999	91.6671	0.0001
	$r(y, X_9)$	0.9994	29.5709	0.0011
	$r(y, X_2)$	1.0000	191.6114	0.0001
9	$r(y, X_5)$	0.9987	19.7384	0.0026
	$r(y, X_7)$	0.9997	44.5617	0.0005
	$r(y, X_8)$	1.0000	173.3549	0.0001
	$r(y, X_2)$	0.9944	9.4232	0.0111
12	$r(y, X_6)$	0.9949	9.8356	0.0102
	$r(y, X_8)$	0.9901	7.0454	0.0196
	$r(y, X_9)$	0.9946	9.6147	0.0106

y: 生物量 Biomass

表 5 不同建植期人工草地群落物种数与土壤特征的偏相关系数

Tab 5 Partial coefficient between plant species and soil properties of artificial grassland at different cultivated periods

群落建植年龄 Community age (a)	偏相关关系 Partial correlation	偏相关系数 Partial coefficient	$t$	$P$
4	$r(y, X_3)$	0.9996	35.3243	0.0008
	$r(y, X_4)$	0.9971	12.9505	0.0059
	$r(y, X_6)$	-0.9542	3.1884	0.0859
	$r(y, X_7)$	-0.9449	2.8870	0.1020
	$r(y, X_1)$	-0.9521	3.1126	0.0896
7	$r(y, X_3)$	0.9995	30.7958	0.0011
	$r(y, X_7)$	-0.9532	3.3909	0.0827
	$r(y, X_8)$	0.9922	7.9368	0.0155
	$r(y, X_1)$	-0.9541	3.1802	0.0865
	$r(y, X_2)$	0.9835	5.4369	0.0322
9	$r(y, X_3)$	0.9846	5.6251	0.0302
	$r(y, X_6)$	0.9041	2.1153	0.1687
	$r(y, X_2)$	0.9975	14.1492	0.005
12	$r(y, X_6)$	0.9846	5.6256	0.0302
	$r(y, X_8)$	0.9989	21.5832	0.0021
	$r(y, X_9)$	0.9993	26.1655	0.0015

y: 物种数 Number of plant species

## 4 讨 论

干扰增加植被斑块性和异质性,驱动着不同时空尺度上的植被动态<sup>[9]</sup>.植物群落的演替是对其初始状态的异化过程,不但体现在种类组成和结构上,也体现在土壤环境的改变.本研究中,人工建植 4年的草地群落处于物种组成、生产力比较稳定的阶段;人工建植 7年的草地群落中原来的优势种垂穗披碱草等大量减少,物种组成明显改变,处于生产力急剧下降的退化阶段;人工建植 9年的草地群落其生产力较低,但随着甘肃马苜蓿 (*Pedicularis kansuensis*) 等杂类草的入侵,莎草科植物随之出现,群落呈正向演替发展;人工建植 12年的草地群落物种组成明显增加,特别是莎草科植物的盖度显著提高,群落逐步趋于稳定.7年、9年人工草地群落由于家畜过度的啃食与践踏,不仅使植物群落发生了逆向演替,植物群落变得低矮稀疏,其物种数和优良牧草比例下降(表 2),而且土壤的肥力水平显著下降,土壤向退化方向发展(表 3).土壤作为植物环境的主要因子,其基本属性和特征必然影响群落演替方向、群落生物量(地上、地下生物量)和物种多样性.不同演替阶段人工草地群落生物量与土壤有机质、土壤全氮、土壤微生物生物量碳呈极显著相关( $P < 0.01$ ),与土壤全磷、土壤总有机碳呈显著相关( $P < 0.05$ ).在 4年、12年的演替阶段,由于人工草地群落不仅地上

部分生产量大,为土壤微生物提供大量凋落物,而且植物根系发达,密集于土壤表层,根系的分泌物和衰亡的根系更是微生物丰富的能源物质.人工草地群落演替过程中,土壤微生物生物量碳和有机碳含量随土壤理化特征(土壤含水量、土壤容重)、土壤养分(土壤有机质)的变化而改变(图1、图2),因而土壤有机碳和微生物量碳含量可以作为衡量土壤肥力和土壤质量变化的重要指标.

本研究结果表明,不同演替阶段人工草地群落物种数的变化能够影响土壤养分和土壤含水量,其多样性的增加有助于改善人工草地水源涵养功能.从表3可以看出,4年和12年草地群落土壤含水量显著高于其他2个群落,这是因为人工草地在建植初期群落盖度和经过十几年的演替变化后群落盖度较大,土壤水分的蒸发量降低,土壤含水量增加.土壤物理特性的改变为后来的植物定居创造了有利条件,根系和枯枝落叶回归土壤为微生物的活动提供了能源,群落水热环境和土壤质量的改变使先锋植物在竞争中失去了优势而让位于后来者,植物种类替代加速,从而促进植物群落生物种类多样性和结构复杂性,土壤中物质的输入和输出速率加快,促进了土壤物质循环,使土壤环境得到进一步改善.某一演替阶段土壤的肥力状况,不仅反应了在此之前植被与土壤协同作用的结果,同时也决定了后续演替过程的土壤肥力基础和初始状态<sup>[1,15]</sup>.因此,植物群落演替过程,也是植物对土壤不断适应和改造的过程,土壤性质是植物演替的重要驱动力之一<sup>[11]</sup>.

#### 参考文献

- [1] Bormann BT, Sidle RC. 1990. Changes in productivity and distribution of nutrients in a chronosequence at Glacier Bay National Park Alaska. *Journal of Ecology*, **78**: 561-578
- [2] Cao GM, Tang YH, Mo WH, et al. 2004. Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau. *Soil Biology & Biochemistry*, **36**: 237-243
- [3] Domaar JF, Smoliak S, Wilms WD. 1990. Distribution of nitrogen fractions in grazed and ungrazed fescue grassland horizons. *Journal of Range Management*, **43** (1): 6-9
- [4] Guan S-Y (关松荫). 1986. *Soil Enzyme and Research Methods*. Beijing: China Agricultural Press (in Chinese)
- [5] Guo K-Z (郭克贞). 1996. Study on the general technical of improving degraded natural grassland. *Pratacutural Science* (草业科学), **13** (2): 24-28 (in Chinese)
- [6] Lu R-K (鲁如坤). 1998. *Soil-Plant Nutrition*. Beijing: Chemical Industry Press (in Chinese)
- [7] Ma K-P (马克平), Huang J-H (黄建辉), Yu S-L (于顺利), et al. 1995. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15** (3): 268-277 (in Chinese)
- [8] Ma Y-S (马玉寿), Lang B-N (郎百宁), Li Q-Y (李青云), et al. 2002. Study on rehabilitating and rebuilding technologies for degenerated alpine meadow in the Changjiang and Yellow river source region. *Pratacutural Science* (草业科学), **19** (9): 1-5 (in Chinese)
- [9] McIntyre S, Lavorel S, Tremont RM. 1995. Plant life-history attributes: Their relationship to disturbance response in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology*, **83**: 31-34
- [10] Niu S-L (牛书丽), Jiang G-M (蒋高明). 2004. Function of artificial grassland in restoration of degraded natural grassland and its research advance. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15** (9): 1662-1666 (in Chinese)
- [11] Qu G-H (曲国辉), Guo J-X (郭继勋). 2003. The relationship between different plant communities and soil characteristics in Songnen grassland. *Acta Pratacutural Sinica* (草业学报), **12** (1): 18-22 (in Chinese)
- [12] Vance ED, Brooks PC, Jenkinson DS. 1987. An extraction method for measure soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, **19**: 703-707
- [13] Wang C-T (王长庭), Long R-J (龙瑞军), Shi J-J (施建军), et al. 2005. Study on the change of vertical structure and productivity of artificial grassland community sowed in different year in alpine area. *Grassland of China* (中国草地), **27** (5): 16-21 (in Chinese)
- [14] Wang C-T (王长庭), Wang Q-J (王启基), Long R-J (龙瑞军), et al. 2004. Changes in plant species diversity and productivity along an elevation gradient in an alpine meadow. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **28** (2): 240-245 (in Chinese)
- [15] Wang X-G (王绪高), Li X-Z (李秀珍), He H-S (贺红士), et al. 2004. Postfire succession of larch forest in the northern slope of Daxinganling. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **23** (5): 35-41 (in Chinese)
- [16] Yang X-B (杨小波), Zhang T-L (张桃林), Wu Q-S (吴庆书). 2002. The relationship between biodiversity and soil fertility characteristics on abandoned fields in the tropical region of southern China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22** (2): 190-196 (in Chinese)
- [17] Zhao P (赵平), Peng S-L (彭少麟). 2001. Species and species diversity in relation with restoration and persistence of degraded ecosystem functions. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12** (1): 132-136 (in Chinese)

作者简介 王长庭,男,1969年生,博士.主要从事恢复生态学和反刍动物营养学研究,已发表论文20余篇. Email: wcht6@hotmail.com

责任编辑 杨弘