

高寒矮嵩草草甸物种多样性与功能多样性对初级生产力的影响^{*}

臧岳铭¹ 朱志红^{1**} 李英年² 王文娟¹ 席博¹

(¹ 陕西师范大学生命科学院, 西安 710062; ² 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008)

摘要 自然生态系统中植物物种多样性是否随功能多样性变化而影响初级生产力的问题存在很大争议。在高寒矮嵩草草甸, 对不同放牧强度、不同利用格局和土壤资源水平的 4 种生境 (. 畜圈: 重度放牧、资源丰富; . 牧道: 中度放牧、资源适中; . 人工草地: 轻-中度放牧、资源贫乏; . 封育草地: 不放牧、资源贫乏) 中物种多样性与功能多样性的变化及其对初级生产力的影响进行了研究。结果表明: 物种多样性在牧道生境最高, 符合中度干扰理论的预测; 人工草地物种多样性低但功能多样性却最高; 封育草地物种多样性和功能多样性均较高; 物种多样性与地上生物量呈正相关, 而功能多样性则与地上生物量呈负相关。表明功能多样性不随物种多样性而变化, 二者可能在一定程度上是相互独立地作用于生产力的。群落生产力和生物多样性受生境资源、物种特征、放牧历史和放牧强度等因素的综合影响。

关键词 物种多样性; 功能多样性; 初级生产力; 高寒草甸

中图分类号 Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)06-0999-07

Effects of species diversity and functional diversity on primary productivity of alpine meadow. ZANG Yue-ming¹, ZHU Zhi-hong¹, LI Ying-nian², WANG Wen-juan¹, XI Bo¹ (¹ College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; ² Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(6): 999-1005.

Abstract: Whether the species diversity (*SD*) in natural ecosystem varies with functional diversity (*FD*) and consequently affects the primary productivity is still an open question. In this paper, a field grazing experiment was conducted on an alpine *Kobresia humilis* meadow to study the effects of *SD* and *FD* on the primary productivity of the ecosystem. Four habitats with different grazing intensity and soil nutrient availability were selected, i.e., pen pasture with heavy grazing intensity and highest nutrient availability, pass pasture with moderate grazing intensity and moderate nutrient availability, artificial pasture with light-moderate grazing intensity and lower nutrient availability, and un-grazed pasture with null grazing intensity and lowest nutrient availability. Among the test habitats, pass pasture had the highest *SD*, which fitted intermediate disturbance hypothesis. Artificial pasture had low *SD* but the highest *FD*, while un-grazed pasture had higher *SD* and *FD*. There was a positive relationship between *SD* and primary productivity but a negative relationship between *FD* and primary productivity, suggesting that *FD* didn't vary with *SD*, and, to a definite extent, both *SD* and *FD* could affect the primary productivity independently. Habitat resources, species characteristics, grazing history, and grazing intensity affected the community's primary productivity and biodiversity in an integrative way.

Key words: species diversity; functional diversity; primary productivity; alpine meadow.

* 国家自然科学基金资助项目 (30671490)。

** 通讯作者 E-mail: zhuzhihong@snnu.edu.cn

收稿日期: 2008-09-22 接受日期: 2009-03-12

近年来随着物种多样性急剧下降,人们对多样性与生态系统功能之间的关系更加关注 (Diaz & Cabido, 2001)。目前主要用生产力 (或生物量) 表征生态系统功能, 研究生产力与生物多样性的关系对衡量生态系统功能具有重要意义 (王长庭等, 2005)。生物多样性是一个多层次概念, 包括基因型、物种、功能型和景观的数量与组成。然而, 在以往的研究中, 常常将物种多样性等同于生物多样性, 对其他成分的研究不够, 尤其是对功能多样性的报道很少 (Lavorel *et al*, 1999; D'áz & Cabido, 2001)。功能多样性作为生物多样性的一个成分对于维持生态系统的功能具有重要意义, 而且比物种多样性更能决定生态系统功能 (de Belb *et al*, 2006)。功能多样性可定量描述群落种间功能特性的差异程度 (Timan *et al*, 2001) 以及群落和景观水平上植物功能型 (plant functional types, PFTs) 的组成和数量。PFTs 是指对环境变化有相似响应、对生态系统功能有相似作用的物种组合 (Diaz & Cabido, 2001; Duru *et al*, 2005)。Lepš 等 (2006) 研究表明, 通过 Rao 系数可以对功能多样性进行量化, Rao 系数选择的性状可以是单个性状也可以是多个性状。但目前这方面的工作非常少, 在国内多样性研究中几乎是空白。

在自然生态系统中物种多样性是否随着功能多样性共同变化是大家关注的问题 (Hooper *et al*, 1997)。物种多样性与功能多样性在生态系统生物量积累过程中是一致地 (Petchey & Gaston, 2002) 还是相对独立地影响生产力 (Diaz & Cabido, 2001; Reich *et al*, 2004; de Belb *et al*, 2006), 其对群落生产力的影响怎么样, 一直缺乏证据 (McCann, 2000)。放牧梯度下物种多样性的变化格局是草地群落结构和功能的重要研究方向 (王仁忠, 1996)。江小蕾等 (2003)、杨利民等 (2001) 和刘颖等 (2002) 先后在青藏高原东北部高寒草甸和东北草原关于植物多样性与放牧强度关系的研究验证了中度干扰理论, 但大都是在生境条件相对一致、仅改变放牧强度的情况下进行的, 而在复杂生境条件下中度干扰理论是否成立还缺少证据。国内外对物种多样性与生产力关系的研究虽然很多, 但结论不一致, 可概括为 3 种: 即单峰曲线 (Kassen *et al*, 2000; 杨利民等, 2002; 王长庭等, 2005)、正相关 (Naeem *et al*, 1994;

Timan *et al*, 1997, 2001; 白永飞等, 2001) 和负相关关系 (Silvertown *et al*, 1994)。Waide 等 (1999) 对约 200 例物种多样性与生产力关系的调查显示, 30% 呈单峰曲线, 26% 是正相关, 12% 为负相关, 32% 没有相关。青藏高原是对全球变化和土地利用格局变化极为敏感的地区 (Klein *et al*, 2004), 长期以来受放牧家畜的强烈影响。有关青藏高原高寒草甸区群落物种多样性与生产力关系的研究显示, 二者间多为正相关 (杜国桢等, 2003; 江小蕾等, 2003; 杨元合等, 2004; 王长庭等, 2005, 2008), 但这些研究很少涉及功能多样性的定量过程。本文拟通过 Rao 系数对功能多样性进行量化, 探讨物种多样性和功能多样性与初级生产力关系的变化, 以期高寒草甸生物多样性的保护提供理论参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行。该站位于青藏高原东北缘 (37°29'N—37°45'N, 101°12'E—101°23'E), 隶属青海省海北藏族自治州门源回族自治县。海拔 3200~3250 m, 年均气温 -1.7℃, 1 月平均气温 -14.8℃, 年均降水量 614.8 mm, 80% 集中于 6—8 月。年蒸发量 1162.3 mm。土壤为高山草甸土、高山灌丛草甸土和沼泽土 (王长庭等, 2005)。矮嵩草草甸在当地为冬春草场, 每年 11 月—次年 5 月底放牧, 放牧家畜为藏羊和牦牛。

样地设在矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 草甸内的 4 种生境中, 它们具有不同的放牧采摘率和土壤养分及水分条件。生境 1: 畜圈。重度放牧, 用作牛羊宿营地 5 年, 距河岸 15~20 m, 积累有大量牛羊粪便, 植物受到严重啃食和践踏, 鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*) 和垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 为群落优势种。生境 2: 牧道。中度放牧, 用作家畜出牧和归牧时的走道 5 年, 距河岸 100~150 m, 有少量粪便积累, 植物受到一定程度的啃食和践踏, 垂穗披碱草和矮嵩草为群落优势种。生境 3: 垂穗披碱草人工草地。轻—中度放牧, 已建植 10 年以上, 退化较为严重, 距河岸 50~100 m, 研究当年施尿素 225 kg·hm⁻², 垂穗披碱草和异针茅 (*Stipa alina*) 为群落优势种。生境 4: 封育草地。不放牧, 距河岸 100~

150 m,无牛羊粪便积累。异针茅和垂穗披碱草为群落优势种。

1.2 研究方法

1.2.1 取样步骤与方法 2007年4月中旬植物返青时,在上述各生境中选3块样地作为实验区组,在每块样地中随机设置12个0.5 m × 0.5 m的样方,其中6个样方用0.7 m × 0.7 m × 0.8 m的铁丝扣笼罩住,作为当年解除放牧的处理,其余6个不加扣笼,仍处于利用状态。将这些样方分成2组,分别在春季放牧结束后半个月(6月中旬)和2个半月(8月中旬)测定。每组72个样方,均为2放牧(无扣笼扣笼) × 4生境 × 3重复 × 3样方的随机区组设计。2组共144个样方。

计数样方中的物种数及高度、密度和盖度。测定样方地上生物量(样方内植物齐地面刈割,60烘72 h,称量),将此作为地上初级生产力(primary productivity)的估计。6月中旬取样时,用笼内外饲草地上生物量差额法估测家畜采摘率(表1)。8月中旬取样时,同土钻在样方边缘取2份0~20 cm深土样,1份用铝盒法测定含水量(105烘6 h),1份用作营养成分分析。pH值用电位法测定;有机质含量用重铬酸钾容量法;全氮含量用凯氏法消解,AA3连续流动分析化学仪测定;全磷含量用凯氏法消解,钼锑抗比色法测定;速效氮含量用1.0 mol · L⁻¹ KCl提取,AA3连续流动化学分析仪测定;速效磷含量用0.5 mol · L⁻¹ NaHCO₃浸提,钼锑抗比色法测定。营养成分分析由西北农林科技大学资源环境学院分析测试中心完成。

1.2.2 数据计算与统计分析 物种多样性分别用物种丰富度 *R*、Shannon-Wiener指数 *H*、Simpson指数 *D* 来表征(马克平和刘玉明,1994),计算公式如下:

$$R = S; H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i; D = 1 / \sum_{i=1}^s P_i^2$$

式中: *P_i* 为样方中第 *i* 个物种的个体数占总个体数的比例; *S* 为样方中的物种数。

功能多样性 *FD* 用 *R_{wo}* 系数计算的公式(Ricotta, 2005; Lepš *et al* , 2006):

$$FD = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s d_{ij} P_i P_j$$

式中: *S* 为样方中的物种数; *P_i*、*P_j* 分别为第 *i*、*j* 个物种在群落中的相对多度; *d_{ij}* 为种 *i* 与种 *j* 之间的欧式距离,本文以植物高度计算。株高是植物对综合生境条件长期适应而外貌上表现出来的重要特性之一,与放牧制度显著相关,并反映了生态系统功能(Lepš *et al* , 2006)。

用 SPSS 13.0-GLM Multivariate 程序比较土壤养分、含水量、pH 值以及群落盖度在生境间的差异以及物种多样性、功能多样性和初级生产力在生境间以及在扣笼内、外的差异,并确定可能的生境 × 扣笼互作效应。用 One-way ANOVA 比较采摘率在生境间的差异。分析时将生境类型和区组作为固定因子(fixed factor)。用 SPSS 13.0-Correlate 程序确定物种多样性、功能多样性和初级生产力两两间的相关性,并采用 SPSS 13.0-Regression 程序对其进行回归分析。分别对百分比数据进行反正弦转换,对生物量数据进行对数转换,对其他数量数据进行平方根转换,并进行方差的正态性和同质性检验。统计分析的显著性水平设为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同生境土壤资源特性和群落特征

土壤含水量在生境间具有显著差异(表1)。畜

表 1 不同生境土壤资源条件、饲草采摘率和群落高度、盖度比较

Tab 1 Comparison of soil resource availability, defoliation ratio of herbs and coverage of communities among habitats

生境类型	土壤含水量 (%)	pH	有机质 (g · kg ⁻¹)	全氮 (g · kg ⁻¹)	硝态氮 (mg · kg ⁻¹)	铵态氮 (mg · kg ⁻¹)	全磷 (g · kg ⁻¹)	速效磷 (g · kg ⁻¹)	群落采摘率 (%)	群落盖度 (%)	群落高度 (cm)
畜圈	29.61 ± 1.93c	7.79 ± 0.13a	173.18 ± 55.69b	13.80 ± 2.65c	18.81 ± 15.46b	44.28 ± 11.44c	1.30 ± 0.13b	13.86 ± 7.90b	43.65 ± 11.81c	99.67 ± 0.42c	2.84 ± 1.06ab
牧道	24.63 ± 1.41b	7.79 ± 0.13a	83.08 ± 4.15a	10.45 ± 2.02bc	3.52 ± 3.37a	21.24 ± 1.74a	0.88 ± 0.02a	3.61 ± 1.15a	32.17 ± 5.23bc	96.72 ± 2.24bc	3.03 ± 0.38b
人工草地	20.54 ± 2.11a	8.35 ± 0.11b	67.70 ± 4.80a	7.40 ± 2.28ab	3.46 ± 3.33a	19.88 ± 1.86a	0.96 ± 0.05a	4.93 ± 2.20a	17.11 ± 12.13ab	87.78 ± 8.75ab	2.11 ± 0.17a
封育草地	25.63 ± 0.58b	8.05 ± 0.19ab	91.27 ± 15.31a	5.64 ± 1.03a	2.76 ± 2.98a	31.48 ± 8.18b	0.93 ± 0.07a	3.65 ± 2.03a	0a	91.89 ± 6.75a	2.97 ± 0.48b
<i>F</i> (3,14)	45.250***	11.816***	29.422***	15.702***	5.861**	22.899***	28.535***	16.989***	12.950**	14.053***	4.280*

组间和组内自由度分别为 3 和 8;数字为平均值 ± 标准差;同列相同字母为差异不显著; * *P* < 0.05, ** *P* < 0.01, *** *P* < 0.001。

圈距河较近,含水量最高,牧道和封育草地次之,人工草地最低。人工草地土壤 pH 值与封育草地无显著差异,但显著高于畜圈和牧道生境。畜圈土壤养分含量、采摘率以及 8 月中旬时的群落盖度均最高。其他 3 个生境中,牧道和人工草地全氮含量较高,封育草地铵态氮含量较高,而有机质、硝态氮、全磷和速效磷含量差异不显著。牧道的采摘率和盖度略高于人工草地。春季放牧结束时群落高度在 4 个生境中差异相对较小,如在畜圈、封育草地与牧道生境间无显著差异,但人工草地高度低于封育草地与牧道生境,这与垂穗披碱草返青较晚、早期生长缓慢有关。说明矮高草草甸在不同的放牧利用强度、种植人工草地以及不同的土壤资源条件综合作用下形成了不同的群落生境条件。

2.2 不同生境物种多样性、功能多样性和初级生产力的变化

方差分析表明,当年解除放牧仅对 6 月的物种丰富度有影响 ($P < 0.05$),对 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、功能多样性和初级生产力无影响 ($P > 0.05$)。至 8 月时,物种丰富度在笼内外的差异消失(表 2)。因此,本研究在文后的分析将同生境中扣笼和无扣笼样方合并计算。

在物种多样性中,物种丰富度、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数在生境间有显著差异 ($P < 0.05$)(表 3),且 6 和 8 月 2 次测定时在生境间的变化一致,即在牧道和封育草地较高,在畜圈和人工草地较低(图 1)。功能多样性在人工草地和封育草地显著高于畜圈和牧道,尤以 8 月份测定时在人工草地最高 ($P < 0.05$)。6 月畜圈和牧道的初级生产力与封育草地无显著差异,但高于人工草地,封育草地与人工草地间无显著差异;8 月畜圈和牧道的初级

表 2 扣笼内外物种多样性、功能多样性与初级生产力 ($g \cdot m^{-2}$) 的比较

Tab 2 Pairwise comparisons of species diversity, functional diversity and primary productivity between grazed and ungrazed plot

指标	6月			8月		
	平均值 差(笼内- 笼外)	标准误	显著性	平均值 差(笼内- 笼外)	标准误	显著性
Shannon-Wiener 指数	0.03	0.05	0.55	0.01	0.11	0.90
Simpson 指数	0.02	0.02	0.27	0.02	0.02	0.51
物种丰富度	2.81*	1.16	0.03	0.81	1.68	0.64
功能多样性	0.08	0.04	0.09	0.16	0.11	0.18
初级生产力	3.72	2.95	0.23	0.21	3.45	0.95

* $P < 0.05$.

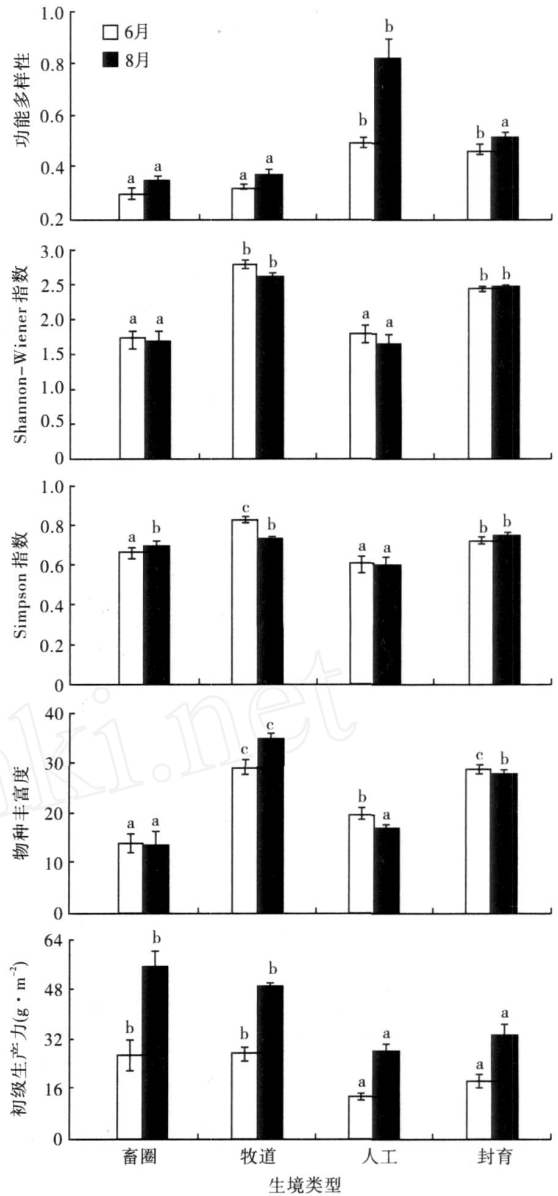


图 1 高寒矮高草草甸不同生境物种多样性、功能多样性和初级生产力的变化

Fig 1 Changes of species diversity, functional diversity and primary productivity in different habitats of alpine Kobresia humilis meadow

数据为平均值 ± 标准误;同月测定的数据上相同字母表示无显著差异,不同字母表示有显著差异。

生产力相同并显著高于人工草地和封育草地 ($P < 0.05$),后二者间无显著差异。

2.3 物种多样性、功能多样性与初级生产力的回归分析

根据 6 和 8 月测定的数据,将物种多样性和功能多样性分别与初级生产力进行回归(图 2)。结果显示,初级生产力与多样性指数都呈显著正相关,而与功能多样性呈显著负相关。初级生产力与 Shan-

non-Wiener指数和物种丰富度的回归方程在6和8月有所不同,Simpson指数的方程一致,但8月的回归系数(0.524)高于6月(0.300)。功能多样性的回归系数也有此特点。

表3 物种多样性、功能多样性与初级生产力(g·m⁻²)的方差分析

Tab 3 Variance analysis of species diversity, functional diversity and primary productivity

指标	变异来源	6月				8月			
		自由度	方差	F	P	自由度	方差	F	P
Shannon-Wiener指数	生境	3	1.58	91.67	0.00	3	1.49	20.39	0.00
	区组	2	0.11	6.60	0.01	2	0.06	0.84	0.45
	放牧	1	0.01	0.38	0.55	1	0.00	0.02	0.90
	生境×放牧	3	0.12	7.09	0.00	3	0.01	0.15	0.93
	误差	14	0.02			14	0.07		
Simpson指数	生境	3	0.06	37.63	0.00	3	0.03	8.38	0.00
	区组	2	0.01	4.41	0.03	2	0.06	4.70	0.03
	放牧	1	0.00	1.30	0.27	1	0.00	0.46	0.51
	生境×放牧	3	0.01	7.35	0.00	3	0.00	0.51	0.68
	误差	14	0.00			14	0.00		
物种丰富度	生境	3	332.24	41.25	0.00	3	592.99	35.14	0.00
	区组	2	2.81	0.35	0.71	2	50.01	2.96	0.08
	放牧	1	47.23	5.86	0.03	1	3.89	0.23	0.64
	生境×放牧	3	9.26	1.15	0.36	3	0.93	0.06	0.98
	误差	14	8.05			14	16.88		
功能多样性	生境	3	0.36	32.65	0.00	3	1.78	0.82	0.00
	区组	2	0.02	1.67	0.22	2	0.25	3.22	0.07
	放牧	1	0.04	3.27	0.09	1	0.16	2.04	0.18
	生境×放牧	3	0.01	0.77	0.53	3	0.06	0.77	0.53
	误差	14	0.01			14	0.08		
初级生产力	生境	3	255.24	4.90	0.02	3	592.99	35.14	0.00
	区组	2	72.46	1.39	0.28	2	50.01	2.96	0.08
	放牧	1	83.00	1.59	0.23	1	3.89	0.23	0.64
	生境×放牧	3	22.40	0.43	0.74	3	0.93	0.06	0.98
	误差	14	52.14			14	16.88		
总和	24				24				

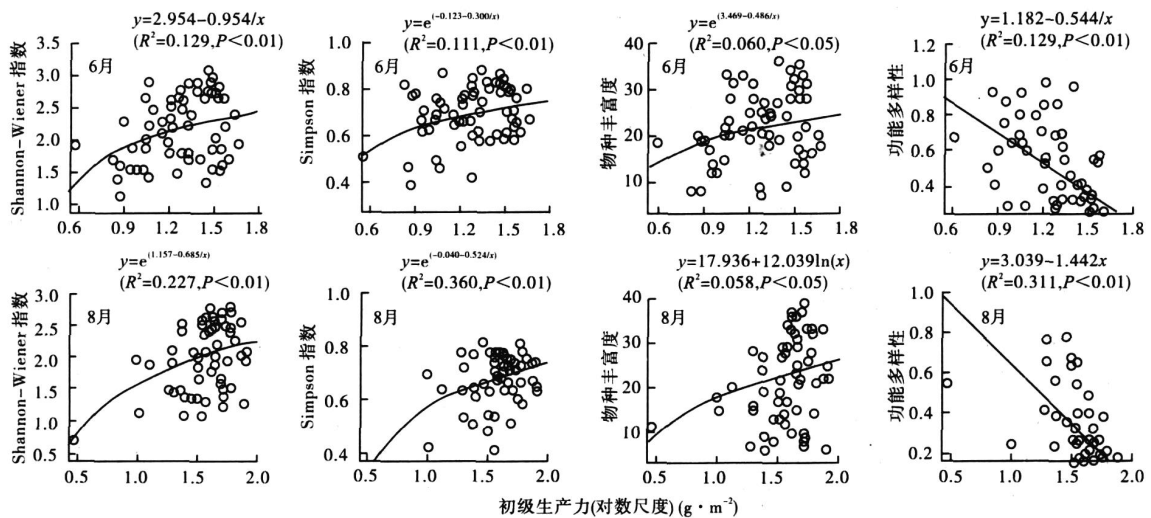


图2 高寒矮蒿草甸物种多样性、功能多样性与初级生产力之间的关系

Fig 2 Relationships between primary productivity and species diversity, functional diversity in different habitats of an alpine Kobresia humilis meadow

3 讨论

3.1 不同生境对物种多样性、功能多样性和初级生产力的影响

放牧是一种高度复杂的干扰方式,对植物群落既有积极作用,也有消极作用(Lavorel *et al.*, 1999),可造成草地群落植物多样性发生变化,但放牧强度不同,植物受到的采食量和采摘频率也不同。本研究区高寒草甸春季放牧是在群落返青时进行的,对草地特征具有很大影响(朱志红和王刚, 1996;朱志红等, 2002)。本研究表明,群落物种多样性在中度放牧的牧道生境最高,这与中度干扰理论的预测相符,即中等程度的放牧干扰能维持高的物种多样性。这也与江小蕾等(2003)的研究结果一致。从而证明中度干扰理论在高寒草甸区草地利用格局和生境资源获得性差异较大的条件下依然成立,也说明适度放牧对于维持草地物种多样性的重要性值得再次强调,即从生态学角度来看,不放牧或过度放牧都是不利的。值得说明的是,在本研究区每家牧户都有专用牧道,而非多家合用一条牧道,因此,牧道生境的采摘率并不很高,而是处于中等水平(表 1)。畜圈和人工草地物种多样性较低的直接原因分别是强烈的放牧采食践踏与开垦种植所导致,前者造成大量的放牧敏感物种消失,后者则是对所有当地物种的清除,虽然对草地的扰动利用形式不同,但都造成了物种的局域性灭绝,引起物种多样性下降。尽管畜圈生境的草地土壤中水分和营养条件很好(表 1),有利于匍匐茎克隆植物鹅绒委陵菜等物种的旺盛生长,但不足以抵消重度采食践踏对大多数物种的不利影响。

人工草地物种多样性很低但功能多样性却最高,说明以株高性状计算的功能多样性在人工草地的物种间分异性很大。而封育草地物种多样性和功能多样性均较高(图 1),牧道物种多样性很高但功能多样性却很低,畜圈物种多样性和功能多样性都较低。综合这些特征,说明功能多样性并不随物种多样性而变化,这二者可能在一定程度上是相互独立的。这与 de Belb 等(2006)的研究结果相符。功能多样性的变化同样受草地利用格局的影响。虽然人工草地和封育草地养分和水分资源相对贫乏,但放牧扰动相对较轻或不放牧(表 1),功能多样性较高。有研究表明,功能多样性在一定环境条件下会随着放牧强度的增加而减小,证实了有些物种可能

通过降低株高等性状来提高自身的耐牧性(Diaz & Cabido, 2001)。这种适应放牧的选择倾向导致总体的种间差异减小,因此,放牧较重的畜圈和牧道生境的功能多样性较小。另外,人工草地和封育草地中垂穗披碱草和异针茅等禾本科植物的优势度较高,群落物种在光竞争中的优势压迫现象明显,这种资源利用上较高的相异性也是引起上述两种生境中功能多样性高的重要原因。

3.2 物种多样性、功能多样性与初级生产力之间的关系

初级生产力随物种多样性单调递增(图 2),说明群落初级生产力随物种多样性增加而增加,这与 Tilman 等(1997, 2001)、Naeem 等(1994)、杜国桢等(2003)和王长庭等(2005)的研究结果相似。从图 2 也可看出,当初级生产力增加到一定程度时,物种多样性的增加有变缓的趋势。而功能多样性与初级生产力的关系与此相反,表现为显著的负线性关系(图 2)。这与 Reich 等(2004)和 de Belb 等(2006)研究结果相似。说明物种多样性与功能多样性的变化不一致,物种多样性不一定等同于功能多样性,二者是独立的,基于种间差异的群落多物种共存机制并不能解释种间功能多样性的分化,或可认为物种多样性与功能多样性是群落特性的两个不同问题。在以后研究多样性问题时,有必要同时考虑物种多样性和功能多样性。在本研究中,畜圈与人工草地的物种多样性都较低且差异很小,但其功能多样性低于人工草地。虽然畜圈生境放牧践踏作用过重,但由于土壤养分和水分资源条件好(表 1),在春季结束放牧休闲 2 个半月后,垂穗披碱草和鹅绒委陵菜密度大,生长旺盛,群落的地上生物量得到很高的补偿性再生(图 1)。人工草地物种单一,建植年限长,退化严重,而且群落中的原有植物矮蒿草、粗喙苔草(*Carex scabrivostris*)以及一些单、双子叶植物的盖度和密度都很低,当年施肥虽然促进了垂穗披碱草的生长,但土壤养分和水分资源仍然较差,致使多数植物生长也较差,且垂穗披碱草与其他植物种间株高分异明显,所以功能多样性较高。牧道生境采食率和土壤资源条件适中,物种多样性高,初级生产力也明显高于封育和人工草地。封育草地群落结构未受放牧干扰,种间竞争抑制作用强烈,物种多样性和初级生产力都不高。牧道和封育草地的功能多样性都低于人工草地。本研究结果同时还反映出草地生态系统是一个由放牧、开垦等不同利用格局和具

有多变的生境资源条件的小群落镶嵌、重叠组合而成的异质性很高的系统,具有复杂的物种多样性、功能多样性与初级生产力的关系,各种抑制和促进因子综合作用,共同影响着系统的结构和功能特性。这在很多研究(Naeem *et al*, 1994; Tilman *et al*, 1997; 2001; Reich *et al*, 2004)中也有反映。

参考文献

- 白永飞,李凌浩,黄建辉,等. 2001. 内蒙古高原针茅草原植物多样性与植物功能群组成对群落初级生产力稳定性的影响. *植物学报*, **43**(3): 280-287.
- 杜国桢,覃光莲,李子珍,等. 2003. 高寒草甸植物群落中物种丰富度与生产力的关系研究. *植物生态学报*, **27**(1): 125-132.
- 刘颖,王德利,王旭,等. 2002. 放牧强度对羊草草地植被特征的影响. *草业学报*, **11**(2): 22-28.
- 马克平,刘玉明. 1994. 生物群落多样性的测度方法. 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, **2**(4): 231-239.
- 江小蕾,张卫国,杨振宇,等. 2003. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响. *西北植物学报*, **23**(9): 1479-1485.
- 王长庭,龙瑞军,曹广民,等. 2008. 高寒草甸不同类型草地土壤养分与物种多样性-生产力关系. *土壤通报*, **39**(1): 1-8.
- 王长庭,龙瑞军,丁路明. 2005. 高寒草甸不同草地群落物种多样性与生产力关系研究. *生态学杂志*, **24**(5): 483-487.
- 王仁忠. 1996. 干扰对草地生态系统生物多样性的影响. *东北师范大学学报(自然科学版)*, (3): 112-116.
- 杨利民,韩梅,李建东. 2001. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化. *植物生态学报*, **25**(1): 110-114.
- 杨利民,周广胜,李建东. 2002. 松嫩平原草地群落物种多样性与生产力关系的研究. *植物生态学报*, **26**(5): 589-593.
- 杨元合,饶胜,胡会峰,等. 2004. 青藏高原高寒草地植物物种丰富度及其与环境因子和生物量的关系. *生物多样性*, **12**(1): 200-205.
- 朱志红,王刚. 1996. 群落结构特征的分析方法探讨:以高寒草甸和高寒灌丛为例. *植物生态学报*, **20**(2): 184-192.
- 朱志红,李希来,孙海群,等. 2002. 不同放牧强度对矮蒿草甸群落返青的影响. *草业科学*, **19**(8): 52-56.
- de Belb F, Lepš J, Sebastia MT. 2006. Variations in species and functional plant diversity along climatic and grazing gradients. *Ecography*, **29**: 801-810.
- Diaz S, Cabido M. 2001. Vive la difference: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, **16**: 646-655.
- Duru M, Tallowin J, Cruz P. 2005. Functional diversity in low-input grassland farming systems: Characterization, effect and management. *Agronomy Research*, **3**: 125-138.
- Hooper DU, Vitousek PM. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science*, **277**: 1302-1305.
- Kassen R, Angus B, Graham B, *et al*. 2000. Diversity peaks at intermediate productivity in a laboratory microcosm. *Nature*, **406**: 508-511.
- Klein JA, Harte J, Zhao XQ. 2004. Experimental warming causes large and rapid species loss, dampened by simulated grazing, on the Tibetan Plateau. *Ecology Letters*, **7**: 1170-1179.
- Lavorel S, Rochette C, Lebreton JD. 1999. Functional groups for response to disturbance in Mediterranean old field. *Oikos*, **84**: 480-498.
- Lepš J, de Belb F, Lavorel S, *et al*. 2006. Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: Practical considerations matter. *Perslia*, **78**: 481-501.
- McCann KS. 2000. The diversity stability debate. *Nature*, **405**: 228-233.
- Naeem S, Tompson LJ, Lawler SP, *et al*. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystem. *Nature*, **368**: 734-737.
- Petchey OL, Gaston KJ. 2002. Functional diversity, species richness and community composition. *Ecology Letters*, **5**: 402-411.
- Reich PB, Tilman D, Naeem S, *et al*. 2004. Species and functional group diversity independently influence biomass accumulation and its response to CO₂ and N. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**: 10101-10106.
- Ricotta C. 2005. A note on functional diversity measures. *Basic and Applied Ecology*, **6**: 479-486.
- Silvertown J, Dodd ME, McConway K, *et al*. 1994. Rainfall, biomass variation, and community composition in the Park Grass Experiment. *Ecology*, **75**: 2430-2437.
- Tilman D, Knops J, Wedin D, *et al*. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, **277**: 1300-1302.
- Tilman D, Reich PB, Knops J, *et al*. 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, **294**: 843-845.
- Waide RB, Willing MR, Steiner CF, *et al*. 1999. The relationship between productivity and species richness. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **30**: 257-300.

作者简介 臧岳铭,女,1983年生,硕士研究生。主要从事植物生态学研究。E-mail: zangyueming@stu.snnu.edu.cn
责任编辑 刘丽娟