2016-08-25 DOI: 10.3724/SP.J.1145.2016.02018 http://www.cibj.com/
应用与环境生物学报 Chin J Appl Environ Biol 2016, 22 (4): 0546-0554

# 高寒草甸不同类型草地群落特征及优势种植物生态位差异*

字洪标[1] 阿的鲁骥[1] 刘 敏[2] 胡 雷[3] 陈 焱[2] 杨有芳[1] 王长庭[2]**

[1]西南民族大学青藏高原研究院 成都 610041
[2]西南民族大学生命科学与技术学院 成都 610041
[3]南京大学生命科学学院 南京 210093

**摘 要** 为了解高寒草甸不同种群利用资源和占据生态空间的能力，结合野外试验和室内分析等手段对青藏高原杂类草草甸、矮嵩草（*Kobresia humilis*）草甸、小嵩草（*Kobresia pygmaea*）草甸和藏嵩草（*Kobresia tibetica*）沼泽化草甸的群落数量特征及主要优势种植物的生态位进行研究. 结果表明，不同群落类型高寒草甸物种组成、Shannon-Wiener和Simpson多样性指数均表现出杂类草草甸＞矮嵩草草甸＞小嵩草草甸＞藏嵩草沼泽化草甸；地上生物量为藏嵩草沼泽化草甸＞矮嵩草草甸＞杂类草草甸＞小嵩草草甸；不同群落类型优势种群所占的比例存在差异性. 生态位宽度以及主要优势种植物生态位重叠值在不同植被类型差异明显，垂穗披碱草（*Elymus nutans*）在杂类草和矮嵩草草甸的生态位宽度最大，小嵩草和藏嵩草分别在小嵩草草甸和藏嵩草沼泽化草甸中最大，且生态位越大与其他植物的生态位重叠程度较高. 但同一物种在不同群落类型所占的生态位宽度和生态位重叠值也不同，生态位宽度大的物种间生态位重叠值也越大. 说明高寒草甸优势种群在资源利用能力或环境的生态适应能力方面有较大的差异性，环境资源的异质性是导致群落组成不同的关键因子.（图2 表7 参42）

**关键词** 高寒草甸；生态位宽度；生态位重叠值；群落特征
**CLC** S812 (244) : Q145

# Difference of community characteristics and niche of dominant species in different grassland types of alpine meadow*

ZI Hongbiao[1], ADE Luji[1], LIU Min[2], HU Lei[3], CHEN Yan[2], YANG Youfang[1] & WANG Changting[2]**

[1]*Collge of Tibetan Plateau Research, Southwest University for Nationalities*, Chengdu 610041, China
[2]*Collge of Life Science and Technology, Southwest University for Nationalities,* Chengdu 610041, China
[3]*School of Life Sciences, Nanjing University,* Nanjing 210093, China

**Abstract** This investigation aimed to explore the plant community characteristics and niche of dominant species in different grassland types (Fords meadow, *Kobresia humilis* meadow, *K. pygmaea* meadow, *K. tibetica* swamp meadow) of alpine meadow. The results showed that the plant community species composition, Shannon-Wiener and Simpson diversity was in the order of Fords meadow > *K. humilis* meadow > *K. pygmaea* meadow > *K. tibetica* swamp meadow. There were obvious discrepancies in the above-ground biomasses of different vegetation ($P < 0.05$). On the plant functional group levels, sedges biomass was the highest in *K. tibetica* swamp meadow; grass biomass was the highest in *K. humilis* meadow; ford and legume biomasses were the highest in Fords meadow. There were significant difference between the niche breadth and niche overlaps of main dominant species in the different vegetation; *Elymus nutans* showed the largest niche breadth in Fords meadow and *K. humilis* meadow, but *K. pygmaea* and *K. tibetica* was the largest in *K. pygmaea* meadow and *K. tibetica* swamp meadow, with high niche overlaps with other plant species. The same plant species showed different niche bread and niche overlap in different vegetation types, with those plant species with large niche breadth exhibiting a high degree of niche overlap. The results showed a high difference in the resource utilization ability or ecological adaptability of the dominant species in the different grassland types of alpine meadow. The mainly factor causing such different plant community composition was the heterogeneity of environmental resources.

**Keywords** alpine meadow; niche breadth; niche overlap; plant community characteristics

收稿日期 Received: 2016-02-25 接受日期 Accepted: 2016-03-18
*国家自然科学基金项目（31370542）和中央高校基本科研业务费优秀科研及重大孵化项目（2014NZYTD01）资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (31370542) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2014NZYTD01)
**通讯作者 Corresponding author(E-mail: wangct@swun.edu.cn )

青藏高原草地生态系统面积大约为2.5 × $10^6$ $km^2$ [1-2]，主要包括高寒草甸、高寒草原、温性草原和荒漠草原等类型. 其中高寒草甸是青藏高原主要的地带性植被，面积约为70万$km^2$，占高原可利用草场的近50% [3]. 其丰富的可利用草地及珍稀动植物资源，成为了青藏高原国民经济和畜牧业发展的物质基础[4]. 然而，受全球气候变化和人类活动的影响，高寒草甸生态系统发生了严重退化，从而导致其群落结构和功能下降乃至丧失[5-6]. 如何保护高寒草甸生态系统生物多样性、维持生态系统功能以及可持续利用，是当前生态学家所面临的主要任务，而要解决这一重要的科学问题，就必须要涉及到植物群落物种组成、结构与生态系统功能的关系[7].

植物群落学特征是草地生产、生态稳定性调控的基础[8]，要实现草地的高效培育和合理利用，就需要充分了解草地群落的组成、结构和功能[9]. 评价生态系统结构与功能最好的指标是生物量，生物量的大小代表了生态系统获取能量的能力，从而就间接表现出群落的功能[10-11]. 生物多样性是生物与环境形成的生态复合体以及与此有关的各种生态过程的总和，不仅能够度量群落的组成结构和功能复杂性，而且能指示环境状况[12-14]，还可以用来表征群落和生态系统的特征[15-16]. 但是，在自然生态系统中，物种多样性和生产力受非生物因素（资源）的影响，而这些非生物因素有可能是多样性–生产力关系的幕后操纵者[17]. 解释植物对资源环境的利用状况和对资源竞争情况最好的指标是生态位宽度和生态位重叠[18-19]，它们被认为是物种多样性及其群落结构的决定因素[20]. 因此在理解群落结构、群落内部物种种间关系、生物多样性、群落动态演替和种群进化等方面具有重要作用[21-24].

本文以青藏高原4个不同群落类型的高寒草甸植物群落的野外调查资料为依据，运用生态位理论，通过分析1）不同植被类型群落组成成分、地上生物量、物种多样性的变化规律以及它们之间的差异性；2）不同群落类型的高寒草甸群落优势种群的生态位特征，揭示草甸植物群落生态位的空间变化和资源利用状况等，为青藏高原高寒草甸保护和退化生态系统的恢复与重建提供理论和科学依据.

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区域自然概况

本研究于2010年8月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行，地理位置为37°29′-37°45′N，101°12′-101°23′E，海拔3 200-3 600 m [25]. 该地区气候具有明显的高原大陆性气候，季风气候偏弱. 气温极低，无明显四季之分，仅有冷暖季之别，冷季漫长、干燥而寒冷，暖季短暂、湿润而凉爽[1]. 年平均气温–1.7 ℃，最冷的1月平均气温–14.8 ℃，最暖的7月平均气温9.8 ℃. 年平均降水量为600 mm左右，降水主要集中在5-9月，约占年降水量的80% [25-26, 7]. 年内相对无霜期约为20 d，在最热的7月仍可出现霜冻、结冰、降雪等天气现象[25]. 而特殊的自然环境及青藏高原隆起过程，造就了适应寒冷湿中生的多年生草本植物群落，形成了不同的植被类型[25-27].

根据主要建群种的不同，选取了4个不同群落类型，即建群种为矮嵩草（*Kobresia humilis*），主要伴生种有线叶嵩草（*Kobresia capillifolia*）、异针茅（*Stipa aliena*）、高山唐松草（*Thalictrum alpinum*）、垂穗披碱草（*Elymus nutans*）、早熟禾（*Poa pratensis*）等的矮嵩草草甸；建群种为小嵩草（*Kobresia pygmaea*），主要的伴生种有羊茅（*Festuca ovina*）、异针茅（*Stipa aliena*）等禾草，杂类草有高山紫菀（*Aster aina*）、湿生扁蕾（*Gentianopsis paludosa*）、高山唐松草（*Thalictrum alpinum*）、异叶米口袋（*Gueldenstaedtis diversifolia*）、黄帚橐吾（*Ligularia gaurea*）等的小嵩草草甸；建群种为藏嵩草（*Kobresia tibetica*），伴生种有华扁穗草（*Blysmussiocom pressuss*）、黑褐苔草（*Carex atrofusca* ）、多穗苔草（*Carex panacea*）、小金花莲（*Trollius pumilus*）、甘青报春（*Primula tangutica*）、星状风毛菊（*Saussurea stella*）等的藏嵩草沼泽化草甸；建群种为箭叶橐吾（*Ligularia sagittal*）、黄花棘豆（*Oxytropis ochrocephala*），伴生种有矮火绒草（*Leontopodium nanum*）、摩玲草（*Morina chinensis*）、异针茅（*Stipa aliena*）、紫羊茅（*Festuca rubra*）、草地早熟禾（*Poa pratensis*）、美丽风毛菊（*Saussurea pulchra*）等的杂类草草甸. 4个不同群落类型的植被特征及地理位置见表1.

## 1.2 试验设计与样品采集

在研究区域选择不同群落类型草地的冬春草场，且每个群落类型草地选择3个面积为50 m × 50 m的样地，于2010年8月下旬（植物生物量高峰期）用样方法[28]在上述各个样地内对角线法设置10个面积为1 m × 1 m样方进行植物群落调查，在所设计样方内随机选择10个样方进行调查，测定植物群落的种类组成及其特征值（频度、盖度、高度和生物量）[7-8]. 其中，物种数即为每个样方内出现的物种数；样方内群落的总盖度和各个种的盖度用网格法测定；高度则在每个样方内每个物种随机选择20株测定（如果不足20株全部测

**表1 研究区域地理位置及土壤与植被特征**

**Table 1 Geographical, soil and plant characteristics of the study site in alpine meadow**

| 植被类型<br>Vegetation type | 盖度<br>Coverage (*r*/%) | 土壤类型<br>Soil type | 海拔<br>Altitude (*h*/m) | 方位<br>Location | 坡向和坡度<br>Slope and aspect |
|---|---|---|---|---|---|
| 杂类草草甸<br>Fords meadow | 80-95 | 高山草甸土<br>Alpine meadow soil | 3216 | 37°38.642′N,<br>101°18.934′E | 5°, NE |
| 矮嵩草草甸<br>*K. humilis* meadow | 60-95 | 高山草甸土<br>Alpine meadow soil | 3196 | 37°38.642′N,<br>101°18.934′E | 10°, SW |
| 小嵩草草甸<br>*K. pygmaea* meadow | 70-90 | 草原化草甸土<br>Steppe meadow soil | 3398 | 37°38.642′N,<br>101°18.934′E | 35°, NW |
| 藏嵩草沼泽化草甸<br>*K. tibetica* swamp meadow | 80-95 | 沼泽化草甸土<br>Swamp meadow soil | 3386 | 37°38.642′N,<br>101°18.934′E | 5°, E |

NE：东北；SW：西南；NW：西北；E：东.

NE: North east; SW: South west; NW: North west; E: East

定)，平均值即为物种高度；生物量则采用收割法，对样方内每个物种进行生物量收割，带回实验室65 ℃烘干至恒重. 称量后，计算单位面积内群落尺度和功能群尺度上(禾本科、莎草科、豆科和杂类草)的地上生物量.

### 1.3 数据处理与分析

多样性指数、均匀度指数[29]，丰富度指数$R = S$ [30]，Levins生态位宽度指数和Schonener生态位重叠指数[31]计算公式如下：(1) Shannon-Wiener指数：$H = -\sum P_i \ln P_i$. (2) Simpson指数：$D = 1 - \sum P_i^2$. (3) Pielou指数：$J = (-\sum P_i \ln P_i)/\ln S$. (4) 重要值：IV =(相对盖度+相对高度+相对频度)/3，结果中重要值均扩大100倍后数据；式中$P_i$为种$i$的重要值，$S$为种$i$所在样方的物种总数. (5) 生态位宽度指数：$B_i = 1/\sum_{j=1}^{r}(P_{ij})^2$，这里$B_i$为种$i$的生态位宽度；$P_{ij} = n_{ij}/N_{i+}$，代表种$i$在第$j$个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比例. $n_{ij}$表示种$i$对种$j$个资源状态的利用量，$N_{i+}$为第$i$个种的所有个体数. (6) 生态位重叠指数：$O_k = 1 - \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{r}|P_{ij} - P_{kj}|$，同时，$0 \le O_{ik} \le 1$，该指数以相似百分率为基础. 试验数据均在SPSS19.0和Excel 2010中进行统计分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 高寒草甸不同群落类型地上生物量干重的差异

高寒草甸不同群落类型地上生物量之间存在显著差异($P < 0.05$)，表现出藏嵩草沼泽化草甸(512.50 g m$^{-2}$)＞矮嵩草草甸(414.77 g m$^{-2}$)＞杂类草草甸(340.32 g m$^{-2}$)＞小嵩草草甸(301.18 g m$^{-2}$)(图1). 在功能群水平上，禾本科地上生物量在矮嵩草草甸最高，藏嵩草沼泽化草甸最低，杂类草草甸和小嵩草草甸居中，且三者之间存在显著差异($P < 0.05$)；豆科植物在藏嵩草草甸未发现，其地上生物量杂类草草甸、矮嵩草草甸显著大于小嵩草草甸($P < 0.05$)；莎草科在藏嵩草沼泽化草甸中占据着绝对优势，其地上生物量远远大于另外3个草甸；杂类草地上生物量在4个草甸存在显著差异($P < 0.05$)，且表现出杂类草草甸(147.52 g m$^{-2}$)＞矮嵩草草甸(113.90 g m$^{-2}$)＞小嵩草草甸(77.09 g m$^{-2}$)＞藏嵩草沼泽化草甸(17.87 g m$^{-2}$). 上述表明不同群落类型高寒草甸生物量在群落水平和功能群水平上均存在差异.

### 2.2 高寒草甸不同群落类型物种多样性的差异

不同群落类型高寒草甸的物种组成、多样性也不同. 由图2可知，物种丰富度、Simpson多样性指数、Shannon-Wiener多样性指数均表现出杂类草草甸＞矮嵩草草甸＞小嵩草草甸＞藏嵩草沼泽化草甸. 物种丰富度、Simpson多样性指数在不同群落类型之间均存在显著差异($P < 0.05$). Shannon-Wiener多样性指数杂类草草甸显著大于小嵩草草甸和藏嵩草沼泽化草甸($P < 0.05$)，矮嵩草草甸与杂类草草甸和小嵩草草甸均无显著差异($P > 0.05$)，但均显著大于藏嵩草沼泽化草甸($P < 0.05$). 均匀度指数在不同群落类型的变化虽有起伏，但均无显著差异($P > 0.05$).

### 2.3 高寒草甸不同群落类型物种组成和重要值的差异

不同群落类型的物种组成以及重要值差异很大(表2). 在所调查的不同群落类型高寒草甸的样方中，出现的植物种共计61种. 其中杂类草草甸植物群落组成最丰富，由47种植物组成，隶属15科40属；平均重要值大于4%的物种是箭叶橐吾(8.89)、黄花棘豆(5.27)、异针茅(4.95)、小米草(4.53)和麻花艽(4.06) 5种，占群落总优势度的27.70%，在该群落中占有绝对优势. 矮嵩草草甸植物群落由41种植物组成，隶属于13科34属；平均重要值大于5%的物种是异针茅(10.23)、垂穗披碱草(6.15)、小米草(5.98)、矮嵩草(5.56)、异叶米口袋(5.42)、草地早熟禾(5.23) 6种，占群落总优势度的28.34%，是该群落优势种群. 小嵩草草甸植物群落由35种植物组成，隶属11科29属；平均重要值大于6%的物种是小嵩草(9.44)、异针茅(6.92)、黄花棘豆(6.51)和黄花棘豆(6.51) 4种，占群落总优势度的28.97%，是该群落的优势种. 藏嵩草草甸植物群落由16种植物组成，隶属于8科12属；重要值大于5%的物种为藏嵩草(26.26)和黑褐苔草(15.47)、苔草(7.42)和草地早熟禾(5.88)，其中藏嵩草和黑褐苔草占绝对优势，占群落总优势度的41.73%. 综合来看，不同群落类型的高寒草甸物种组成以及优势种群均存在显著差异；相同的物种在不同群落类型所占的优势度也不同.

### 2.4 高寒草甸不同群落类型物种生态宽度的差异

杂类草草甸植物种的生态位宽度排在前4位的分别为

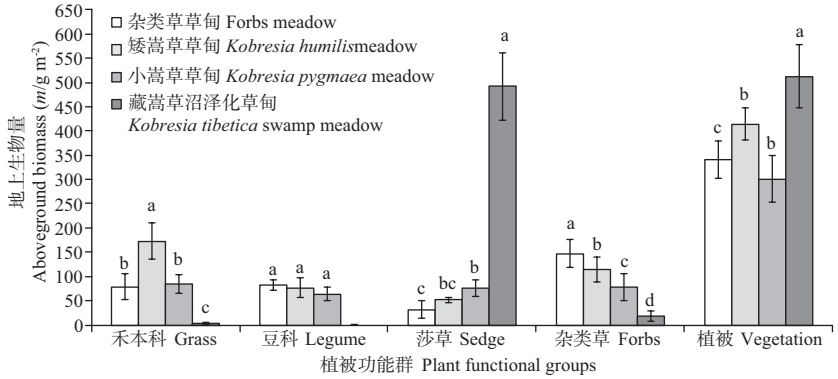



**图1 不同群落类型地上生物量干重的差异.** 不同小写字母代表不同群落类型草地群落功能群(禾本科、豆科、莎草科、杂类草)和地上生物量干重间差异显著($P < 0.05$).

**Fig. 1 Aboveground biomass in different community types.** Lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$) of dry weight aboveground biomass between different functional groups of community types (grass, legume, sedge, forbs).

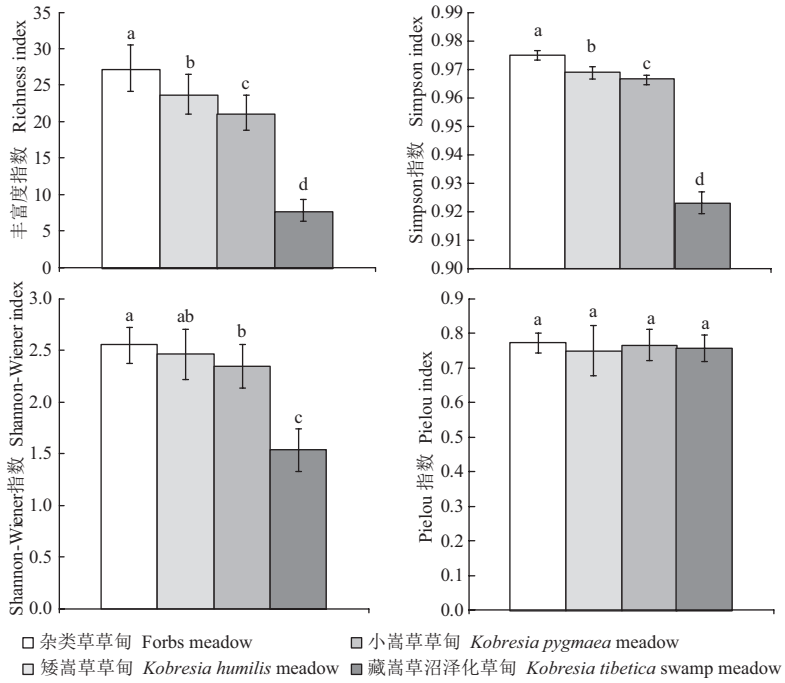



**图2 不同群落类型物种多样性的差异.** 不同小写字母代表不同群落类型植物群落物种多样性差异显著（$P < 0.05$）.
**Fig. 2 Diversity of species in different community types.** Lowercase letters indicate significant difference in plant community diversity ($P < 0.05$).

**表2 不同群落类型高寒草甸物种组成及其重要值差异（$N = 10$）**
**Table 2 Differences in species composition and important values of alpine meadows of different community types ($N = 10$)**

| 种号 Species number | 物种 Species | 杂类草草甸 Forbs meadow | 矮嵩草草甸 *K. humilis* meadow | 小嵩草草甸 *K. pygmaea* meadow | 藏嵩草沼泽化草甸 *K. tibetica* swamp meadow |
|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 垂穗披碱草 *Elymus nutans* | 3.37 | 6.15 | 6.10 | — |
| S2 | 异针茅 *Stipa aliena* | 4.95 | 10.23 | 6.92 | — |
| S3 | 羊茅 *Festuca ovina* | 2.58 | — | — | — |
| S4 | 紫羊茅 *Festuca rubra* | 3.89 | 3.96 | 4.80 | — |
| S5 | 洽草 *Koeleria cristata* | 2.86 | 3.06 | 1.64 | 3.58 |
| S6 | 草地早熟禾 *Poa pratensis* | 3.43 | 5.23 | 4.32 | 5.88 |
| S7 | 双叉细柄茅 *Ptilagrostis dichotoma* | 3.64 | — | 2.54 | — |
| S8 | 矮嵩草 *Kobresia humilis* | 3.40 | 5.56 | 2.73 | — |
| S9 | 苔草 *Carex tristachya* | 2.89 | 1.89 | 1.70 | 7.42 |
| S10 | 双柱头藨草 *Scirpus distigmaticus* | 1.13 | 1.39 | — | — |
| S11 | 小嵩草 *Kobresia parva* | — | — | 9.44 | — |
| S12 | 藏嵩草 *Kobresia tibetica* | — | — | — | 26.26 |
| S13 | 黑褐苔草 *Carex atrofusca* | — | — | — | 15.47 |
| S14 | 多穗苔草 *Carex panicea* | — | — | — | 5.50 |
| S15 | 青海风毛菊 *Saussurea qinghaiensis* | 2.03 | 2.64 | 2.17 | — |
| S16 | 美丽风毛菊 *Saussurea pulchra* | 2.38 | 2.11 | 3.18 | — |
| S17 | 柔软紫菀 *Aster flaccidus* | 3.67 | 2.63 | 4.67 | 3.31 |
| S18 | 矮火绒草 *Leontopodium nanum* | 0.75 | 1.49 | 2.25 | — |
| S19 | 摩玲草 *Morina chinensis* | 3.67 | 2.38 | — | — |
| S20 | 箭叶橐吾 *Ligularia sagitta* | 8.89 | — | — | — |
| S21 | 细叶亚菊 *Ajania tenuifolia* | 1.49 | 1.70 | — | — |
| S22 | 蒲公英 *Taraxacum mongolicum* | 1.25 | 1.69 | 2.08 | — |
| S23 | 香青 *Anaphalis sinica* | — | — | 2.56 | — |
| S24 | 川甘蒲公英 *Taraxacum lugubre* | — | — | — | 2.45 |
| S25 | 星状风毛菊 *Saussuurea stella* | — | — | — | 2.72 |
| S26 | 鳞叶龙胆 *Gentiana squarrosa* | 0.58 | 1.23 | — | — |
| S27 | 獐牙菜 *Swertia bimaculata* | 1.24 | 1.65 | 1.44 | 1.82 |
| S28 | 麻花艽 *Gentiana straminea* | 4.06 | 3.27 | 4.05 | — |
| S29 | 尖叶假龙胆 *Gentianella acuta* | 1.47 | 1.39 | 1.04 | — |
| S30 | 线叶龙胆 *Gentiana farreri* | 1.31 | 2.78 | 2.35 | 1.58 |
| S31 | 湿生扁蕾 *Gentianopsis paludosa* | 1.82 | 1.95 | — | — |
| S32 | 繁缕 *Stellaria media* | 0.71 | 0.86 | 1.09 | 1.29 |
| S33 | 高山唐松草 *Thalictrum alpinum* | 1.38 | 1.81 | — | — |

**表2（续） Table 2 (Continued)**

| 种号 Species number | 物种 Species | 杂类草草甸 Forbs meadow | 矮嵩草草甸 *K. humilis* meadow | 小嵩草草甸 *K. pygmaea* meadow | 藏嵩草沼泽化草甸 *K. tibetica* swamp meadow |
|---|---|---|---|---|---|
| S34 | 直梗高山唐松草 *Thalictrum alpinum* | 1.88 | 2.97 | — | — |
| S35 | 三裂碱毛茛 *Halerpestes tricuspis* | 0.60 | — | 1.67 | — |
| S36 | 棉毛茛 *Ranunculus membranaceus* | 0.60 | 0.81 | 1.34 | — |
| S37 | 银莲花 *Anemone cathayensis* | 0.77 | 1.08 | 2.30 | — |
| S38 | 雅毛茛 *Ranunculus pulchellus* | — | 1.51 | 2.40 | — |
| S39 | 异叶米口袋 *Tibetia himalaica* | 3.81 | 5.42 | 4.07 | — |
| S40 | 花苜蓿 *Medicago ruthenica* | 2.55 | 4.29 | 2.35 | — |
| S41 | 甘肃棘豆 *Oxytropis kansuensis* | 2.13 | — | — | — |
| S42 | 黄花棘豆 *Oxytropis ochrocephala* | 5.27 | 2.30 | 6.51 | — |
| S43 | 黄芪 *Astragalus membranaceus* | 1.37 | 1.49 | 1.50 | — |
| S44 | 雪白委陵菜 *Potentilla nivea* | 1.79 | 1.93 | 1.66 | — |
| S45 | 鹅绒委陵菜 *Potentilla anserina* | 1.00 | 0.97 | — | — |
| S46 | 多裂委陵菜 *Potentilla multifida* | — | — | 1.15 | — |
| S47 | 二裂委陵菜 *Potentilla bifurca* | 0.50 | 0.70 | 1.93 | — |
| S48 | 婆婆纳 *Veronica didyma* | 0.61 | — | 1.06 | — |
| S49 | 兰石草 *Lancea tibetica* | 0.56 | 1.31 | 1.10 | — |
| S50 | 甘肃马先蒿 *Pedicularis kansuensis* | 0.72 | 1.26 | — | 2.46 |
| S51 | 小米草 *Euphrasia pectinata* | 4.53 | 5.98 | — | — |
| S52 | 斑唇马苋蒿 *Pedicularis longiflora* | — | — | — | 1.00 |
| S53 | 海乳草 *Glaux maritima* | 0.53 | — | — | — |
| S54 | 报春花 *Primula malacoides* | — | — | — | 2.17 |
| S55 | 三脉梅花草 *Parnassia trinervis* | 1.25 | 1.21 | — | 3.54 |
| S56 | 虎耳草 *Saxifraga stolonifera* | — | — | 1.07 | — |
| S57 | 鸢尾 *Iris tectorum* | 1.33 | 1.68 | — | — |
| S58 | 紫花地丁 *Viola philippica* | 0.46 | 0.45 | 1.30 | — |
| S59 | 西伯利亚蓼 *Polygonum sibiricum* | 0.74 | — | — | — |
| S60 | 猪殃殃 *Galium aparine* | 1.08 | — | — | — |
| S61 | 老鹳草 *Geranium wilfordii* | 1.03 | — | — | — |

“—” 表示此物种在该样地中未出现.

“—”: No such species found in the community type.

垂穗披碱草、异针茅、黄花棘豆、蒲公英；排在后4位的为羊茅、二裂委陵菜、婆婆纳、鳞叶龙胆. 矮嵩草草甸生态位宽度排在前4位的为垂穗披碱草、矮嵩草、异针茅、异叶米口袋；排在后4位是甘肃马先蒿、细叶亚菊、鸢尾、紫花地丁. 小嵩草草甸排在前4位的是小嵩草、矮嵩草、早熟禾、异针茅；排在后4位的是青海风毛菊、尖叶假龙胆、多裂委陵菜、雅毛茛. 藏嵩草沼泽化草甸排在前3位为藏嵩草、黑褐苔草、苔草；排在后3位为柔软紫菀、斑唇马苋蒿、线叶龙胆（表3）.

**表3 高寒草甸不同群落类型下植物群落的生态位宽度（$N = 10$）**

**Table 3 Niche breadth of plant species in different vegetation types of alpine meadow ($N = 10$)**

| 种号 Species number | 杂类草草甸 Forbs meadow | 矮嵩草草甸 *K. humilis* meadow | 小嵩草草甸 *K. pygmaea* meadow | 藏嵩草沼泽化草甸 *K. tibetica* swamp meadow |
|---|---|---|---|---|
| S1 | 9.27 | 9.76 | 8.88 | — |
| S2 | 8.51 | 9.61 | 9.09 | — |
| S3 | 1.00 | — | — | — |
| S4 | 3.81 | 3.92 | 6.20 | — |
| S5 | 5.63 | 8.44 | 1.00 | 1.75 |
| S6 | 7.14 | 6.22 | 9.14 | 5.88 |
| S7 | 1.96 | — | 1.00 | — |
| S8 | 7.69 | 9.64 | 9.63 | — |
| S9 | 4.88 | 7.39 | 5.30 | 8.82 |
| S10 | 3.90 | 5.73 | — | — |
| S11 | — | — | 9.87 | — |
| S12 | — | — | — | 9.77 |
| S13 | — | — | — | 9.08 |
| S14 | — | — | — | 1.00 |

**表3（续） Table 3 (Continued)**

| 种号 Species number | 杂类草草甸 Forbs meadow | 矮嵩草草甸 *K. humilis* meadow | 小嵩草草甸 *K. pygmaea* meadow | 藏嵩草沼泽化草甸 *K. tibetica* swamp meadow |
|---|---|---|---|---|
| S15 | 7.34 | 2.96 | 1.00 | — |
| S16 | 5.80 | 6.34 | 8.06 | — |
| S17 | 7.44 | 4.31 | 2.96 | 1.00 |
| S18 | 4.50 | 4.97 | 7.27 | — |
| S19 | 6.62 | 1.00 | — | — |
| S20 | 3.56 | — | — | — |
| S21 | 4.17 | 1.00 | — | — |
| S22 | 8.12 | 6.43 | 4.69 | — |
| S23 | — | — | 2.55 | — |
| S24 | — | — | — | 3.93 |
| S25 | — | — | — | 1.96 |
| S26 | 1.00 | 1.38 | — | — |
| S27 | 7.24 | 8.04 | 1.84 | 2.95 |
| S28 | 6.52 | 6.88 | 7.15 | — |
| S29 | 5.72 | 6.90 | 1.00 | — |
| S30 | 2.00 | 4.72 | 3.73 | 1.00 |
| S31 | 1.60 | 5.61 | — | — |
| S32 | 6.19 | 7.34 | 3.67 | 1.92 |
| S33 | 2.71 | 6.77 | — | — |
| S34 | 3.16 | 1.00 | — | — |
| S35 | 1.98 | — | 1.74 | — |
| S36 | 3.00 | 1.80 | 6.85 | — |
| S37 | 6.19 | 2.92 | 2.69 | — |
| S38 | — | 4.07 | 1.00 | — |
| S39 | 6.36 | 9.46 | 8.74 | — |
| S40 | 7.14 | 7.60 | 3.77 | — |
| S41 | 4.84 | — | — | — |
| S42 | 8.31 | 4.65 | 8.63 | — |

表3（续） Table 3 (Continued)

| 种号 Species number | 杂类草草甸 Forbs meadow | 矮嵩草草甸 *K. humilis* meadow | 小嵩草草甸 *K. pygmaea* meadow | 藏嵩草沼泽化草甸 *K. tibetica* swamp meadow |
|---|---|---|---|---|
| S43 | 5.94 | 5.43 | 4.13 | — |
| S44 | 4.90 | 6.92 | 7.13 | — |
| S45 | 4.57 | 4.71 | — | — |
| S46 | — | — | 1.00 | — |
| S47 | 1.00 | 2.77 | 3.70 | — |
| S48 | 1.00 | — | 5.00 | — |
| S49 | 5.76 | 7.26 | 3.09 | — |
| S50 | 4.00 | 1.00 | — | 1.65 |
| S51 | 4.53 | 5.98 | — | — |
| S52 | — | — | — | 1.00 |
| S53 | 2.00 | — | — | — |
| S54 | — | — | — | 6.34 |
| S55 | — | 2.42 | — | 4.52 |
| S56 | 1.81 | — | 2.98 | — |
| S57 | 1.88 | 1.00 | — | — |
| S58 | 3.00 | 1.00 | 8.03 | — |
| S59 | 2.00 | — | — | — |
| S60 | 1.80 | — | — | — |
| S61 | — | 2.10 | — | — |

物种序号见表2；“—” 表示此物种在该样地中未出现.
Species number are shown in Table 2; “—”: No such species found in the community type.

## 2.5 高寒草甸不同植被类型物种生态位重叠的差异

杂类草草甸群落有11种对的生态位重叠值超过了0.75（表4），分别是垂穗披碱草和异针茅（0.811）、垂穗披碱草和黄花棘豆（0.779）、垂穗披碱草和蒲公英（0.760）、垂穗披碱草和早熟禾（0.784）、异针茅和黄花棘豆（0.784）、异针茅和柔软紫菀（0.842）、异针茅和早熟禾（0.773）、黄花棘豆和蒲公英（0.784）、蒲公英和柔软紫菀（0.780）、矮嵩草和獐牙菜（0.771）、青海风毛菊和花苜蓿（0.792），其中生态位重叠最大值出现在异针茅和柔软紫菀之间，说明在杂类草草甸，这些物种之间对资源利用的相似程度最高.

矮嵩草草甸生态位重叠值大于0.8的种对有10对（表5），分别是垂穗披碱草和矮嵩草（0.900）、垂穗披碱草和异针茅（0.944）、垂穗披碱草和异叶米口袋（0.895）、垂穗披碱草和洽草（0.811）、矮嵩草和异针茅（0.885）、矮嵩草和异叶米口袋（0.868）、矮嵩草和獐牙菜（0.850）、异针茅和异叶米口袋（0.891）、异针茅和洽草（0.823）、花苜蓿和苔草（0.835），其中垂穗披碱草和异针茅的生态位重叠值最大.

小嵩草草甸生态位重叠值大于0.8的种对有19对（表6），分别是小嵩草和矮嵩草（0.934）、小嵩草和草地早熟禾

表4 杂类草草甸优势种植物间生态位的重叠值（$N = 10$）
Table 4 Niche overlap of dominant species in forbs meadow ($N = 10$)

| 物种 Species | S1 | S2 | S42 | S22 | S8 | S17 | S15 | S27 | S40 | S6 | S19 | S28 | S39 | S32 | S37 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| S2 | 0.811 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| S42 | 0.779 | 0.784 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| S22 | 0.760 | 0.734 | 0.784 | 1 | | | | | | | | | | | |
| S8 | 0.708 | 0.695 | 0.736 | 0.747 | 1 | | | | | | | | | | |
| S17 | 0.749 | 0.842 | 0.721 | 0.780 | 0.587 | 1 | | | | | | | | | |
| S15 | 0.690 | 0.646 | 0.627 | 0.666 | 0.663 | 0.608 | 1 | | | | | | | | |
| S27 | 0.677 | 0.616 | 0.657 | 0.710 | 0.771 | 0.555 | 0.626 | 1 | | | | | | | |
| S40 | 0.682 | 0.705 | 0.620 | 0.634 | 0.679 | 0.681 | 0.792 | 0.601 | 1 | | | | | | |
| S6 | 0.784 | 0.773 | 0.710 | 0.619 | 0.568 | 0.744 | 0.557 | 0.526 | 0.615 | 1 | | | | | |
| S19 | 0.641 | 0.609 | 0.546 | 0.666 | 0.761 | 0.584 | 0.718 | 0.727 | 0.761 | 0.509 | 1 | | | | |
| S28 | 0.615 | 0.656 | 0.610 | 0.569 | 0.636 | 0.665 | 0.650 | 0.586 | 0.693 | 0.697 | 0.636 | 1 | | | |
| S39 | 0.665 | 0.692 | 0.563 | 0.590 | 0.595 | 0.698 | 0.561 | 0.561 | 0.576 | 0.632 | 0.668 | 0.639 | 1 | | |
| S32 | 0.731 | 0.619 | 0.600 | 0.631 | 0.574 | 0.564 | 0.635 | 0.549 | 0.537 | 0.643 | 0.539 | 0.520 | 0.530 | 1 | |
| S37 | 0.669 | 0.694 | 0.718 | 0.686 | 0.648 | 0.674 | 0.435 | 0.497 | 0.483 | 0.663 | 0.469 | 0.543 | 0.579 | 0.560 | 1 |

物种序号见表2.
Species number are shown in Table 2.

表5 矮嵩草草甸优势种植物间生态位的重叠值（$N = 10$）
Table 5 Niche overlap of dominant species in *K. humilis* meadow ($N = 10$)

| 物种 Species | S1 | S8 | S2 | S39 | S5 | S27 | S40 | S9 | S32 | S49 | S44 | S29 | S28 | S33 | S22 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| S8 | 0.900 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| S2 | 0.944 | 0.885 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| S39 | 0.895 | 0.868 | 0.891 | 1 | | | | | | | | | | | |
| S5 | 0.811 | 0.792 | 0.823 | 0.785 | 1 | | | | | | | | | | |
| S27 | 0.778 | 0.850 | 0.778 | 0.797 | 0.661 | 1 | | | | | | | | | |
| S40 | 0.752 | 0.781 | 0.743 | 0.739 | 0.697 | 0.746 | 1 | | | | | | | | |
| S9 | 0.706 | 0.738 | 0.701 | 0.720 | 0.688 | 0.665 | 0.835 | 1 | | | | | | | |
| S32 | 0.737 | 0.727 | 0.715 | 0.731 | 0.778 | 0.643 | 0.662 | 0.677 | 1 | | | | | | |
| S49 | 0.795 | 0.757 | 0.784 | 0.740 | 0.781 | 0.634 | 0.628 | 0.540 | 0.650 | 1 | | | | | |
| S44 | 0.724 | 0.716 | 0.743 | 0.684 | 0.675 | 0.686 | 0.646 | 0.675 | 0.581 | 0.616 | 1 | | | | |
| S29 | 0.739 | 0.753 | 0.748 | 0.788 | 0.650 | 0.738 | 0.794 | 0.710 | 0.555 | 0.599 | 0.544 | 1 | | | |
| S28 | 0.772 | 0.743 | 0.725 | 0.752 | 0.690 | 0.709 | 0.650 | 0.620 | 0.706 | 0.639 | 0.614 | 0.570 | 1 | | |
| S33 | 0.667 | 0.708 | 0.651 | 0.660 | 0.592 | 0.620 | 0.633 | 0.743 | 0.684 | 0.496 | 0.586 | 0.590 | 0.590 | 1 | |
| S22 | 0.711 | 0.661 | 0.676 | 0.640 | 0.648 | 0.589 | 0.758 | 0.722 | 0.581 | 0.663 | 0.709 | 0.540 | 0.645 | 0.540 | 1 |

物种序号见表2.
Species numbers are shown in Table 2.

**表6 小嵩草草甸优势种植物间生态位的重叠值（*N* = 10）**
**Table 6 Niche overlap of dominant species in *K. pygmaea* meadow (*N* = 10)**

| 物种 Species | S11 | S8 | S6 | S2 | S1 | S39 | S42 | S16 | S58 | S18 | S28 | S44 | S36 | S9 | S48 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S11 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| S8 | 0.934 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| S6 | 0.868 | 0.818 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| S2 | 0.843 | 0.832 | 0.816 | 1 | | | | | | | | | | | |
| S1 | 0.831 | 0.821 | 0.821 | 0.889 | 1 | | | | | | | | | | |
| S39 | 0.838 | 0.786 | 0.818 | 0.843 | 0.828 | 1 | | | | | | | | | |
| S42 | 0.866 | 0.863 | 0.822 | 0.751 | 0.723 | 0.723 | 1 | | | | | | | | |
| S16 | 0.769 | 0.825 | 0.752 | 0.768 | 0.767 | 0.700 | 0.767 | 1 | | | | | | | |
| S58 | 0.806 | 0.831 | 0.731 | 0.790 | 0.781 | 0.751 | 0.741 | 0.781 | 1 | | | | | | |
| S18 | 0.769 | 0.771 | 0.738 | 0.682 | 0.670 | 0.681 | 0.749 | 0.733 | 0.670 | 1 | | | | | |
| S28 | 0.763 | 0.734 | 0.713 | 0.714 | 0.553 | 0.700 | 0.751 | 0.627 | 0.596 | 0.553 | 1 | | | | |
| S44 | 0.732 | 0.698 | 0.799 | 0.725 | 0.556 | 0.788 | 0.705 | 0.678 | 0.672 | 0.664 | 0.556 | 1 | | | |
| S36 | 0.695 | 0.664 | 0.651 | 0.747 | 0.573 | 0.737 | 0.605 | 0.622 | 0.730 | 0.485 | 0.628 | 0.573 | 1 | | |
| S9 | 0.685 | 0.671 | 0.650 | 0.594 | 0.510 | 0.572 | 0.694 | 0.540 | 0.557 | 0.569 | 0.544 | 0.498 | 0.510 | 1 | |
| S48 | 0.466 | 0.435 | 0.502 | 0.524 | 0.296 | 0.594 | 0.375 | 0.452 | 0.527 | 0.360 | 0.607 | 0.475 | 0.718 | 0.296 | 1 |

物种序号见表2.
Species numbers are shown in Table 2.

（0.864）、小嵩草和异针茅（0.843）、小嵩草和垂穗披碱草（0.831）、小嵩草和异叶米口袋（0.383）、小嵩草和黄花棘豆（0.866）、小嵩草和紫花地丁（0.806）、矮嵩草和草地早熟禾（0.818）、矮嵩草和异针茅（0.838）、矮嵩草和垂穗披碱草（0.821）、矮嵩草和黄花棘豆（0.863）、矮嵩草和美丽风毛菊（0.825）、草地早熟禾和异针茅（0.816）、草地早熟禾和垂穗披碱草（0.821）、草地早熟禾和异叶米口袋（0.818）、草地早熟禾和黄花棘豆（0.822）、异针茅和垂穗披碱草（0.889）、异针茅和异叶米口袋（0.843）、垂穗披碱草和异叶米口袋（0.828），其中小嵩草和矮嵩草的生态位重叠值最大.

藏嵩草沼泽化草甸由于物种组成较少，因此其生态位重叠的对数就相对小. 由表7可知，藏嵩草沼泽化草甸生态位重叠值大于0.7的种对有3对，分别为藏嵩草和黑褐苔草（0.834）、藏嵩草和苔草（0.879）、黑褐苔草和苔草（0.787），其中藏嵩草草甸和苔草重叠值最大.

**表7 藏嵩草沼泽化草甸优势种植物间生态位的重叠值（*N* = 10）**
**Table 7 Niche overlap of dominant species in *K. tibetica* swamp meadow (*N* = 10)**

| 物种 Species | S12 | S13 | S9 | S54 | S6 | S55 | S24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S12 | 1 | | | | | | |
| S13 | 0.834 | 1 | | | | | |
| S9 | 0.879 | 0.787 | 1 | | | | |
| S54 | 0.680 | 0.582 | 0.688 | 1 | | | |
| S6 | 0.553 | 0.645 | 0.498 | 0.624 | 1 | | |
| S55 | 0.574 | 0.619 | 0.637 | 0.402 | 0.369 | 1 | |
| S24 | 0.478 | 0.473 | 0.406 | 0.488 | 0.444 | 0.203 | 1 |

物种序号见表2.
Species numbers are shown in Table 2.

## 3 讨论与结论

环境因素对不同类型高寒草甸的分布有着很大的贡献，物种生存与多样性保存离不开特定的栖息地. 植物群落结构特征、生物生产力和物种多样性的分布格局差异的形成主要原因是不同的环境资源和环境多样性[27]. 本研究中不同群落类型的物种组成以及物种多样性存在显著差异，表现出杂类草草甸>矮嵩草草甸>小嵩草草甸>藏嵩草沼泽化草甸；地上生物量表现为藏嵩草沼泽化草甸>矮嵩草草甸>杂类草草甸>小嵩草草甸. 一方面，不同群落类型草地所处环境条件（温度和湿度）不同，如小嵩草草甸主要分布在地温较高，土壤干燥、土质坚硬的阳坡，矮嵩草草甸主要在平缓的滩地，而藏嵩草沼泽化草甸处在沼泽地带，地表长久积水，常年处在饱和或超饱和的土壤湿度环境中. 另一方面，土壤养分含量的差异性会影响到植物群落结构和功能，如藏嵩草沼泽化草甸土壤养分含量最高，而矮嵩草草甸和小嵩草草甸土壤养分相对较低，且群落生产力与土壤养分存在正相关关系，而多样性在小嵩草草甸、矮嵩草草甸有正相关关系，但是与藏嵩草沼泽化草甸则表现出负相关趋势[8, 32]. 另外，生物在漫长的演化过程中，拥有独特的生理生化过程和生物学特征，从而决定了群落组成和生产力的不同[33-34].

生态位宽度是一个物种所利用各种资源多样性的一个指标，是衡量物种对环境资源利用状况的尺度[35-36]，反映某一种群对环境的适应性及利用环境资源的广泛性，其值大小表示占有资源利用能力的强弱；而生态位重叠表示各对种群对共同资源的共享能力，反映是种群间竞争关系，重叠值的大小则表示生态学特性的相似性，亦或是在同一空间内生态需求互补性强弱[37-39]. 不同类型草甸垂穗披碱草、异针茅和藏嵩草等植物生态位宽度大于大部分物种，表明这些植物种利用资源能力较强，是泛化种，而杂类草草甸婆婆纳、矮嵩草草甸紫花地丁、藏嵩草沼泽化草甸的线叶龙胆、小嵩草草甸的雅毛茛等植物生态位宽度较小，利用资源能力较弱. 而一个物种在群落中利用资源的能力体现在其分布范围和生物量的占有上[31]. 如矮嵩草草甸的禾本科（垂穗披碱草和异针茅）和藏嵩草沼泽化草甸莎草科（藏嵩草）等植物生物量较大，表明这些植物种利用资源能力强，与其它物种间竞争占有优势. 而相同物种（如异针茅、垂穗披碱草、柔软紫菀等）在不同类型草甸中生态位宽度存在差异，在某一群落是优势种，但在另外一个群落中可能只是一个伴生种. 表明资源环境差异导致同一物种表现出不同生态位的主要因素. 除生态位宽度外，重要值也是用来评价某一植物种群在群落中

的地位和作用大小，且以往研究表明，重要值越大的物种，往往生态位宽度也越大，对资源的利用和对环境的适应能力也越强[40]. 但本研究发现重要值大小并非是生态位宽度大小的唯一因素，如杂类草草甸的黄帚橐吾重要值最大，但是其生态位宽度并非最大，仅为中等水平. 表明物种生态位宽度与其在群落中的优势度不一定呈正相关[36]. 而物种间生态位重叠值表现出生态位宽度越宽，其重叠值越大（表4-7）. 这与大多数研究生态位的结果相一致，即较大生态位宽度常常伴随着较高的生态位重叠[37, 41-42].

综上所述，不同群落类型高寒草甸群落数量特征各异，主要体现在植物种类组成、地上生物量和多样性的变化上. 物种多样性与地上生物量之间并非是简单的线性关系，而是地上生物量为中等水平时群落物种丰富度最高. 物种重要值与生态位宽度存在一定相关性，但并不是所有物种间都是正相关. 生态位宽度越宽的物种间生态位重叠程度就越高. 同一物种在不同群落类型中重要值、生态位宽度和生态位重叠值不同，说明这些种群易与其它种群落共享资源. 因此，物种的生态位很好地解释了高寒草甸不同群落类型群落物种组成及其分布.

## 参考文献 [References]


1 索南措. 青藏高原东缘高寒草甸植被特征与土壤性质随海变化的响应研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2013 [Sonamtso. Studies on vegetation characteristics, soil nutrients and protozoa with the change of altitude in alpine meadow on the East Qinghai-Tibetan Plateau [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2013]

2 王长庭, 曹广民, 王启兰, 施建军, 杜岩功, 龙瑞军. 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[J]. 应用生态学报, 2007, **18** (11): 2426-2431 [Wang CT, Cao GM, Wang QL, Shi JJ, Du YG, Long RJ. 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 [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18** (11): 2426-2431]

3 赵新全. 高寒草甸生态系统与全球变化[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-337 [Zhao XQ. Alpine Meadow Ecosystem and Global Change [M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-337]

4 李海英, 彭红春, 王启基. 高寒矮嵩草草甸不同退化演替阶段植物群落地上生物量分析[J]. 草业学报, 2004, **13** (5): 26-32 [Li HY, Peng HC, Wang QJ. Study on the aboveground biomass of plant communities among the stages of regressive succession in alpine *Kobresia humilis* meadow. *Acta Pratac Sci*, 2004, **13** (5): 26-32]

5 王建兵, 张德罡, 曹广民, 田青. 青藏高原高寒草甸退化演替的分区特征[J]. 草业学报, 2013, **22** (2): 1-10 [Wang JB, Zhang DG, Cao GM, Tian Q. Regional characteristics of the alpine meadow degradation succession on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Acta Pratac Sin*, 2013, **22** (2): 1-10]

6 刘洪来, 杨学东, 张靖云, 靳瑰丽, 陈超, 宋高翔. 伊犁绢蒿荒漠不同退化阶段草地特征与载畜力研究[J]. 草地学报, 2013, **21** (1): 50-55 [Liu HL, Yang XD, Zhang JY, Jin GL, Chen C, Song GX. Characteristics and herbivore-carrying capacities of different degradation grasslands in *Seriphidium transiliense* desert [J]. *Acta Agrestia Sin*, 2013, **21** (1): 50-53]

7 王长庭, 王根绪, 刘伟, 马力, 胡雷. 高寒草甸不同类型草地土壤机械组成及肥力比较[J]. 干旱区资源与环境, 2013, **27** (9): 160-165 [Wang C, Wang G, Liu W, Ma L, Hu L. Comparison of soil mechanical composition and soil fertility at different grassland types in alpine meadow [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2013, **27** (9): 160-165]

8 王彦龙, 马玉寿, 施建军, 董全民, 吴海艳, 盛利, 杨时海, 李世雄. 黄河源区高寒草甸不同植被生物量及土壤养分状况研究[J]. 草地学报, 2011, **19** (1): 1-6 [Wang YL, Ma YS, Shi JJ, Dong QM, Wu HY, Sheng L, Yang SH, Li SX. Investigation of biomass and soil nutrition of different vegetation type at alpine meadow in yellow river headwater area [J]. *Acta Agrestia Sin*, 2011, **19** (1): 1-6]

9 董世魁, 胡自治, 龙瑞军, 康慕谊, 江源. 高寒地区多年生禾草混播草地的群落学特征研究[J]. 生态学杂志, 2003, **22** (5): 20-25 [Dong SK, Hu ZZ, Long RJ, Kang MY. Community characteristics of mixed grassland with perennial grasses in alpine region of Tibetan Plateau [J]. *Chin J Ecol*, 2003, **22** (5): 20-25]

10 李士美, 谢高地, 张彩霞. 典型草地地上现存生物量资产动态[J]. 草业学报, 2009, **18** (4): 1-8 [Li SM, Xie GD, Zhang CX. Dynamics of the above-ground standing biomass assets of typical grassland [J]. *Acta Pratac Sin*, 2009, **18** (4): 1-8]

11 Odum EP. Base of Ecology [M]. Beijing: People Education Press, 1971

12 马克平. 试论生物多样性的概念[J]. 生物多样性, 1993 (1): 20-22 [Ma KP. On the concept of biodiversity [J]. *Biodiv Sci*, 1993 (1): 20-22]

13 袁飞, 韩兴国, 葛剑平, 邬建国. 内蒙古锡林河流域羊草草原净初级生产力及其对全球气候变化的响应[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (10): 2168-2176 [Yuan F, Han XG, Ge JP, Wu JG. Net primary productivity of *Leymus chinensis* steppe in Xilin River basin of Inner Mongolia and its responses to global climate change. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (10): 2168-2176]

14 盛丽, 王彦龙, 黎明, 唐燕青, 胡学华. 格姆滩高寒草甸不同草地植被地上生物量及物种多样性研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2010, **40** (5): 4-6 [Sheng L, Wang YL, Li M, Tang YQ, Hu XH. Study of biomass of above-ground and species diversity at different vegetation types on alpine meadow in Gemutan [J]. *Chin Qinghai J Anim Vet Sci*, 2010, **40** (5): 4-6]

15 Hurlbert SH. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters [J]. *Ecology*, 1971, **52** (4): 577-586

16 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 13-35 [Qian YQ, Ma KP. The Principle and Methods of Biodiversity Research [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 13-35]

17 Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime JP, Hector A, Hooper DU, Huston MA, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle DA. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future research [J]. *Science*, 2001, **294** (5543): 804-808

18 李中林, 秦卫华, 周守标, 张纪兵, 汪贞, 王运静. 围栏封育下华北半干旱草原植物生态位研究[J]. 草地学报, 2014, **22** (6): 1186-1193 [Li ZL, Qin WG, Zhou SB, Zhang JB, Wang Z, Wang YJ. Study on plant niche under fencing measures in the semi-arid grassland of North China [J]. *Acta Agrestia Sin*, 2014, **22** (6): 1186-1193]

19 徐治国, 何岩, 闫百兴, 宋长春. 三江平原典型沼泽湿地植物种群的生态位[J]. 应用生态学报, 2007, **18** (4): 783-787 [Xu ZG, He Y, Yan BX, Song CC. Niche characteristics of typical marsh wetland plant populations in Sanjiang Plain [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18** (4): 783-787]

20 刘魏, 曹伟. 长白山云冷杉群落主要种群生态位特征[J]. 生态学杂志,

2011, **30** (8): 1766-1774 [Liu W, Cao W. Niche characteristics of main plant species in spruce-fir forests in Changbai Mountains [J]. *Chin J Ecol,* 2011, **30** (8): 1766-1774]

21 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 韩建国, 宛新荣, 郝树广. 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位[J]. 生态学报, 2013, **33** (3): 856-866 [Liu GH, Wang GJ, Wang SP, Han JG, Wan XR, Hao SG. The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, **33** (3): 856-866]

22 张金屯. 数量生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2013: 113-123 [Zhang CJ. Quantitative Ecology [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2013: 113-123]

23 吕世杰, 刘红梅, 吴艳玲, 卫智军, 孙世贤, 王颖杰, 林森. 放牧对荒漠草原建群种和优势种生态位的影响[J]. 生态环境学报, 2014 (10): 1600-1609 [Lü SJ, Liu HM, Wu YL, Wei ZJ, Sun SX, Wang YJ, Lin S. Effect of grazing on niche of constructive and dominant species in the desert steppe [J]. *Ecol Environ Sci*, 2014 (10): 1600-1609]

24 刘帅华, 贺康宁, 董梅, 胡兴波, 芦新建.青海大通不同人工林林下草本群落生态位特征[J]. 四川农业大学学报, 2012, **30** (2): 167-173 [Liu SH, He KN, Dong M, Hu XB, Lu XJ. Niche characteristics of herb community in different plantation in Datong County of Qinghai Province [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2012, **30** (2): 167-173]

25 李英年, 徐世晓, 赵亮, 张法伟, 赵新全. 青海海北高寒湿地近地层大气$CO_2$浓度的变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2007, **21** (6): 108-113 [Li YN, Xu SX, Zhao L, Zhang FW, Zhao XQ. Changes of surface atmospheric $CO_2$ concentration in alpine swamp of northern Qinghai [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2007, **21** (6): 108-113]

26 李英年, 赵亮, 赵新全, 周华坤. 5年模拟增温后矮嵩草草甸群落结构及生产量的变化[J]. 草地学报, 2004, **12** (3): 236-239 [Li YN, Zhao L, Zhao XQ, Zhou HK. Effects of a 5-years mimic Temperature Increase to the structure and productivity of *Kobresia humilis* meadow [J]. *Acta Agrestia Sin*, 2004, **12** (3): 236-239]

27 李英年, 赵新全, 王勤学, 古松, 杜明远, 加藤知道, 王启兰, 赵亮. 青海海北高寒草甸五种植被生物量及环境条件比较[J]. 山地学报, 2003, **21** (3): 257-264 [Li Y N, Zhao X Q, Wang Q X, Gu S, Du M Y, Kato D U, Wang Q L, Zhao L. The comparison of community biomass and environmental condition of five vegetational type in alpine meadow of Haibei, Qinghai Province [J]. *J Mount Sci*, 2003, **21** (3): 257-264]

28 Wang CT, Long RJ. The effects of differences in functional group diversity and composition on plant community productivity in four types of alpine meadow communities [J]. *Chin Biodiv*, 2004, **12** (4): 403-409

29 向泽宇, 陈瑞芳, 蒋忠荣, 嘎绒仁青, 杨俊连, 王长庭, 胡雷. 川西北高寒草甸对火烧干扰的短期响应[J]. 草业科学, 2014, **31** (11): 2034-2041 [Xiang ZY, Chen RF, Jiang ZR, Garong RQ, Yang JL, Wang CT, Hu L. The short-term responses of alpine meadow to fire disturbance in Northwest Sichuan [J]. *Pratac Sci,* 2014, **31** (11): 2034-2041]

30 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 118-119 [Li B. Ecology [M] . Beijing: Higher Education Press, 2004: 118-119]

31 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004 [Zhang JC. Quantitative Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004]

32 王长庭, 龙瑞军, 曹广民, 王启兰, 景增春, 施建军. 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[J]. 土壤通报, 2008, **39** (1): 1-8 [Wang CT, Long RJ, Cao GM, Wang QL, Jing ZC, Shi JJ. The relationship between soil nutrients and diversity-productivity of different type grasslands in alpine meadow [J]. *Chin J Soil Sci*, 2008, **39** (1): 1-8]

33 王长庭, 曹广民, 王启兰, 景增春,丁路明, 龙瑞军. 青藏高原高寒草甸植物群落物种组成和生物量沿环境梯度的变化[J]. 中国科学C辑: 生命科学, 2007, **37** (5): 585-592 [Wang CT, Cao GM, Wang QL, Jing ZC, Ding LM, Long RJ. Changes in plant biomass and species composition of alpine *Kobresia* meadows along altitudinal gradient on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Sci China*, 2008, **51** (1): 86-94]

34 Kuo JK, Chang-Jian CW, Chen CK. Effects of traits, species identity and local environmental conditions on the assessment of interactions: insights from an alpine meadow community [J]. *J Plant Ecol*, 1964, **13** (4): 336-340

35 陈文业, 戚登臣, 李广宇,魏强, 王芳, 孙飞达, 刘振恒, 朱丽. 甘南高寒退化草地生态位特征及生产力研究[J]. 自然资源学报, 2010, **25** (1): 80-90 [Chen WY, Qi DC, Li GY, Wang F, Sun FD, Liu ZH, Zhu L. Study on degraded niche characteristics and productivity of alpine meadow at Maqu in south of Gansu Province [J]. *J Nat Resour*, 2010, **25** (1): 80-90]

36 戚登臣, 陈文业, 刘振恒, 巩晓兰, 金巴, 敏晓平, 徐小伟, 刘明清. 黄河首曲-玛曲县高寒草甸沙化演替进程中群落结构及种群生态位特征[J]. 西北植物学报, 2011, **31** (12): 2522-2531 [Qi DC, Chen WY, Liu ZH, Gong XL, Jin B, Min XP, Xu XW, Liu MQ. Population structure and niche dynamics characteristics of plants communities in the sandy succession of Maqu Alpine Meadow in First Meander of Yellow River [J]. *Acta Bot Bor-Occid Sin*, 2011, **31** (12): 2522-2531]

37 王仁忠. 放牧影响下羊草草地主要植物种群生态位宽度与生态位重叠的研究[J]. 植物生态学报, 1997, **21** (4): 304-311 [The niche breadth and niche overlaps of main plant population in *Leymus chinensis* grassland for grazing [J]. *Chin J Plant Ecol*, 1997, **21** (4): 304-311]

38 沈振西, 陈佐忠, 周兴民, 周华坤. 高施氮量对高寒矮嵩草甸主要类群和多样性及质量的影响[J]. 草地学报, 2002, **10** (1): 7-17 [Shen ZX, Chen ZZ, Zhou XM, Zhou HK. Responses of plant groups, diversity and meadow quality to high-rate n fertilization on alpine *Kobresia humilis* community [J]. *Acta Agrestia Sin*, 2002, **10** (1): 7-17]

39 李军玲, 张金屯. 太行山中段植物群落优势种生态位研究[J]. 植物研究, 2006, **26** (2): 156-162 [Li JL, Zhang JC. Niche of dominant species in the Midst of Taihang Mountain [J]. *Bull Bot Res*, 2006, **26** (2): 156-162]

40 钱逸凡, 伊力塔, 胡军飞, 张超, 余树全, 沈露, 彭东琴. 普陀山主要植物种生态位特征[J]. 生态学杂志, 2012, **31** (3): 561-568 [Qian YF, Yi LT, Hu JF, Zhang C, Yu SQ, Shen L, Peng DQ . Niche characteristics of main plant species in Putuo Mountain, Zhejiang Province of East China [J]. *Chin J Ecol*, 2012, **31** (3): 561-568]

41 董全民, 赵新全, 马玉寿, 李青云, 施健军, 王彦龙, 盛丽, 闫明毅. 高寒小嵩草草甸暖季草场主要植物种群的生态位[J]. 生态学杂志, 2006, **25** (11): 1323-1327 [Dong QM, Zhao XQ, Ma YS, Li QY, Shi JJ, Wang YL, Sheng L, Yan MY. Niche of main plant populations on a warm-seasonal pastureland of alpine Kobrecia parva meadow [J]. *Chin J Ecol*, 2006, **25** (11): 1323-1327

42 张继义, 赵哈林, 张铜会, 赵学勇. 科尔沁沙地植物群落恢复演替系列种群生态位动态特征[J]. 生态学报, 2003, **23** (12): 2741-2746 [ Zhang JY, Zhao HL, Zhang TQ, Zhao XY. Niche dynamics of main populations of plants communities in the restoring succession process in Horqin Sandy Land [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23** (12): 2741-2746]