

唐家河自然保护区高寒草甸植物群落和功能群特征分析

肖梅^{1,2}, 谌利民³, 刘金平^{1*}, 李明富², 银彩羽¹, 穆文涛¹

(1. 西华师范大学西南野生动植物资源保护省部共建教育部重点实验室, 四川 南充 637009; 2. 唐家河国家级自然保护区管理处, 四川 青川 628109; 3. 四川省大熊猫科学研究院, 四川 成都 610081)

摘要:【目的】分析唐家河自然保护区高寒草甸植物地带性特点及群落功能群特征, 以提升唐家河自然保护区生态生产力和管理水平。【方法】在3座孤山山峰上分别设置6个海拔梯度(2 700~2 799 m, 2 800~2 899 m, 2 900~2 999 m, 3 000~3 099 m, 3 100~3 299 m, $\geq 3 200$ m), 测定不同海拔梯度植物种类与数量、群落组成与特征、优势种与亚优势种数量, 按生活型、水分生态型和生产型分析功能群特征及产量贡献率, 研究高寒草甸植物地带性特点及群落功能群特征。【结果】高寒草甸共有14科43种植物, 不同海拔植物科数和种数差异显著($P < 0.05$), 6个海拔梯度建群种、优势种、亚优势种和偶见种的种类和数量不同($P < 0.05$), 致使海拔对植被类型和群落特征有显著影响($P < 0.05$)。海拔显著影响功能群的组成与重要值($P < 0.05$), 随海拔升高, 生活型多年生苔草类、水分生态型中生植物和生产型莎草类重要值显著增加($P < 0.05$), 生活型多年生杂草类、水分生态型旱生和旱中生和生产型杂类草重要值则显著降低($P < 0.05$)。海拔显著影响草地鲜草产量和生产型功能群的产量贡献率($P < 0.05$), 海拔 $> 2 800$ m莎草科是决定草地产量的主要功能群。【结论】海拔显著影响植物群落组成、结构、特征、功能及生态生产力, 海拔3 000 m是植物种类、群落组成及功能群变化的关键高度, 依据海拔制定相应保护方案和干扰措施, 是提高高寒草甸生态功能的基本要求。

关键词:海拔; 高寒草甸; 功能群; 群落特征; 优势种

中图分类号: S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2025)01-0128-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2025.01.015



唐家河国家级自然保护区是“两屏三带”中“川滇生态屏障”的重要组成部分^[1], 保护区植被具有典型亚热带季风气候山地垂直分带特征, 沿海拔梯度依次为常绿阔叶林, 常绿落叶阔叶混交林, 落叶阔叶林、针叶林以及高寒草甸^[2], 是大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)等72种重点保护动物和珙桐(*Davidia involu-crata*)等12种珍稀植物及山地森林生态系统的重要保

护区, 也是西南山地生物多样性研究的热点地区^[3]。7座海拔3 000 m以上高山山顶分布的高寒草甸, 是绿尾虹雉(*Lophophorus lhuysii*)等高山雉类和扭角羚(*Budorcas taxicolor*)等草食动物的取食场所和夏季繁殖地。高寒草甸为保护区4个植被型组之一^[2], 对水源涵养、生物多样性保护和基因资源维持等方面发挥着重大作用。监测和评估长期断绝人类活动的绝对保护措施下, 核心保护区高寒草甸植物种类及功能群地带性特点及变化规律, 是评价高寒草甸物种多样性、生态生产力和更新动力, 制定科学保护策略及提升管理水平的基本要求。

高寒草甸植物群落结构简单, 抗干扰能力及自我修复能力差, 对气候变化和人为干扰极敏感^[4-6], 受高海拔、强辐射、少降水、低积温的气候条件限制^[7], 高寒

收稿日期: 2024-01-16; 修回日期: 2024-04-07

基金资助: 大熊猫国家公园四川省管理局唐家河国家级自然保护区高寒草甸研究(478056)

作者简介: 肖梅(1989-), 女, 四川成都人, 硕士研究生。

E-mail: 599207971@qq.com

*通信作者, 研究方向为观赏草本植物生理生态。E-mail: jpgg2000@163.com

草甸是典型生态脆弱地带和重点生态功能区^[8]。唐家河国家级自然保护区高寒草甸海拔跨度 $>500\text{ m}$,光照、水热及风力等自然因子的垂直分布格局,致使植物生长可依赖的生境资源的数量与存在形式的异质性,决定了植物分布、扩散、定居、拓展、繁殖及生活史等生命活动的复杂性,影响着草地植物群落组成和生态功能。

依据生境特点和功能需求划分功能群,可使植物群落功能特征和物种功能研究简单化。鉴于唐家河自然保护区水源涵养、生物多样性保护和基因资源维持的主要功能,结合高寒草甸群落特点和生态生产功能,以生活型表述功能群外貌特征和生命期长短^[9],生态型表述水分利用特征和抗旱性^[4],生产型表述生产能力和草地质量^[10],从3个角度分析海拔对功能群组成及特征更具现实意义。

本研究在唐家河自然保护区核心区的3座山峰上,划定6个海拔梯度,通过测定高寒草甸植物种类与数量、优势度、群落结构及功能群组成等指标,分析海拔梯度间高寒草甸外观、结构、数量及动态差异,研究海拔对高寒草甸植物地带性特点及功能群特征的影响,探究气候变化下高寒草甸物种多样性和群落功能群组成沿海拔变化规律,为该区高寒草甸保护措施制定与实施策略提供依据,为山地森林系统生态功能垂直地带性评价提供借鉴。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

唐家河国家级自然保护区位于四川盆地西北缘,

为横断山脉北端向青藏高原过渡地带,属亚热带湿润季风气候,介于 $104.60^{\circ}\sim 104.87^{\circ}\text{ E}$ 、 $32.50^{\circ}\sim 32.68^{\circ}\text{ N}$,面积 400 km^2 ,海拔 $1\,100\sim 3\,864\text{ m}$,年降水量 $1\,100\text{ mm}$,年平均气温 12° C ,年日照时数为 $1\,337.62\text{ h}$,土壤垂直地带性为黄壤—黄棕壤—暗棕壤—亚高寒草甸土。7座 $>3\,000\text{ m}$ 山峰山顶离散分布有高寒草甸。

1.2 试验设计

于2023年7月,在大草坪($3\,837.1\text{ m}$)、火烧岭($3\,233\text{ m}$)、大草堂($3\,232.2\text{ m}$)的高寒草甸上,划定 $2\,700\sim 2\,799\text{ m}$, $2\,800\sim 2\,899\text{ m}$, $2\,900\sim 2\,999\text{ m}$, $3\,000\sim 3\,099\text{ m}$, $3\,100\sim 3\,299\text{ m}$, $\geq 3\,200\text{ m}$ 等6个海拔梯度,每坐山峰的每个梯度梯度内设置 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 代表性样地5个,每样地随机选择 $1.0\text{ m}\times 1.0\text{ m}$ 样方3个。采样地基本情况见表1。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 植物群落特征调查 物种数:测所有植物种类,单位面积内植物种数为物种数,进行科属种的鉴定。统计植物的科数和种数。

群落密度:测所有植物植株的枝条数,单位面积的枝条数为群落密度;

群落高度:随机20次测所有植株自然高度,均值为群落高度;

盖度^[4]:网格法测所有植物对地表的覆盖度为投影盖度;以离地面1英寸(2.54 cm)高度断面的植物基部的覆盖面积为基盖度;

优势种:参照郭倩^[11]的方法,统计群落中盖度占总投影盖度 $\geq 40\%$ 植物种为建群种, $\geq 20\%$ 为优势种, $10\%\sim 19\%$ 为亚优势种(常见种), $<10\%$ 为偶见

表1 样地坡度及土壤理化性状

Table 1 Effects of altitude on on soil thickness and particle size composition

海拔/m	坡度/ $^{\circ}$	土层厚度/cm	容重/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	含水量/ $\%$	有机质/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效氮/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效钾/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
2 700~2 799	$22.63\pm 3.75^{\text{e}}$	$22.37\pm 2.32^{\text{b}}$	$3.08\pm 0.12^{\text{c}}$	$32.58\pm 1.32^{\text{d}}$	$3.23\pm 2.12^{\text{b}}$	$49.43\pm 3.14^{\text{e}}$	$17.17\pm 0.26^{\text{c}}$	$212.59\pm 0.56^{\text{b}}$
2 800~2 899	$34.25\pm 6.21^{\text{c}}$	$18.24\pm 2.74^{\text{c}}$	$4.42\pm 0.11^{\text{b}}$	$33.44\pm 1.51^{\text{d}}$	$2.45\pm 3.21^{\text{d}}$	$63.27\pm 0.68^{\text{d}}$	$16.74\pm 0.91^{\text{c}}$	$271.11\pm 0.24^{\text{a}}$
2 900~2 999	$55.64\pm 15.33^{\text{a}}$	$6.12\pm 2.54^{\text{e}}$	$6.27\pm 0.09^{\text{a}}$	$26.87\pm 0.82^{\text{e}}$	$1.82\pm 2.36^{\text{e}}$	$26.69\pm 3.06^{\text{f}}$	$17.58\pm 0.51^{\text{c}}$	$61.34\pm 0.11^{\text{f}}$
3 000~3 099	$42.12\pm 8.12^{\text{b}}$	$15.18\pm 4.62^{\text{d}}$	$3.16\pm 0.14^{\text{c}}$	$35.91\pm 0.32^{\text{c}}$	$2.53\pm 3.17^{\text{c}}$	$73.18\pm 0.17^{\text{c}}$	$26.91\pm 0.19^{\text{b}}$	$124.29\pm 0.05^{\text{d}}$
3 100~3 199	$32.32\pm 5.32^{\text{d}}$	$17.24\pm 2.11^{\text{c}}$	$2.08\pm 0.31^{\text{d}}$	$42.35\pm 0.34^{\text{b}}$	$2.41\pm 2.04^{\text{d}}$	$78.68\pm 1.11^{\text{b}}$	$28.25\pm 0.08^{\text{a}}$	$169.64\pm 0.18^{\text{c}}$
$\geq 3\,200$	$10.02\pm 3.12^{\text{f}}$	$33.28\pm 4.35^{\text{a}}$	$2.31\pm 0.04^{\text{d}}$	$44.53\pm 0.09^{\text{a}}$	$4.58\pm 0.08^{\text{a}}$	$98.96\pm 0.19^{\text{a}}$	$28.05\pm 0.05^{\text{a}}$	$117.58\pm 0.62^{\text{e}}$

注:同行不同小写字母表示海拔间的差异显著($P<0.05$)。表中数值为平均值 $\pm$ 标准差。下表同。

种;以第一优势种自然高度为优势种高度。

多样性指数^[4]:物种多样性(采用 Simpsion's index): $D=1-\sum P_i^2$

式中: P_i 为第*i*种的个体数占群落中总盖度的比例。

物种丰富度(采用 Mar-glalef's index): $R=S-1/\ln N$ 。

式中: S 为群落中的总种数, N 为观察到的个体总数。

物种均匀度(采用 Pielou's index): $J=D/\ln S$

式中: D 为群落的多样性指数, S 为群落中的总种数。

1.3.2 植物功能群特征调查 功能群划分^[4]:采用3种方法划分植物功能群按生活型分为灌木半灌木和小半灌木、多年生丛生禾草、多年生根茎禾草、多年生苔草类、多年生杂类草和一、二年生草本;按水分生态型分成:中生植物、中旱生植物、旱中生植物和旱生植物(将广旱生植物归为此类);按植物生产型分为:禾草类、莎草类、豆科类和杂草类。

重要值^[12]:采用针刺法测频度,网格法测盖度和密度,计算公式为:重要值(优势度)=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3,其中,相对密度=某类植物密度/总密度×100%,相对频度=某类植物频度/总频度×100%,相对盖度=某类植物盖度/总盖度×100%。

产量:齐地刈割后,按草种分离,分别装袋于105℃下杀青0.5 h后,75℃下烘至恒重,称干重为功

能群草种干草产量,计算公式为:产量贡献率=功能群草种产量/总产量×100%。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件统计分析,用平均值和标准误标识测定结果,进行单因素方差分析和 SNK 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 海拔对植被地带性特点的影响

2.1.1 植物种类 海拔显著影响植物科数和种数($P<0.05$)(表2),海拔越高,植物科数越少,由2 700~2 799 m的14科降为≥3 200 m的9科,6个海拔梯度同时分布仅7科,海拔<3 000 m特有6科,而豆科和景天科仅在>3 000 m出现。植物种数受海拔影响大于科数,种数变异范围为16~28种,海拔<3 000 m的种数多于>3 000 m。高寒草甸分布植物总数为43种,其中禾本科8种,菊科6种,莎草科和蓼科各4种,蔷薇科和毛茛科各3种,豆科、石竹科和伞形科各2种,五加科、灯芯草科、牻牛儿苗科、景天科、车前科、茜草科、唇形科、玄参科和肾蕨科各1种。不同海拔同科植物的种类差异较大,其中禾本科和菊科沿海拔梯度变化最大。仅高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、甘肃苔草(*Carex kansuensis*)、高山早熟禾(*Poa alpina*)、野草莓(*Fragaria vesca*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、白苞蒿(*Artemisia lactiflora*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)、雅灯芯草(*Juncus concinnus*)等8种植物在6个海拔梯度上均有分布。

表2 海拔高度对植物种类和群落组成的影响
Table 2 Effect of altitude on plant species and community member

项目	海拔/m					
	2 700~2 799	2 800~2 899	2 900~2 999	3 000~3 099	3 100~3 200	≥3200
植物科数	14.12±0.32 ^a	14.24±0.34 ^a	13.24±0.21 ^b	10.02±0.64 ^c	11.07±0.35 ^c	9.33±0.21 ^d
植物种数	28.23±1.21 ^a	26.35±0.62 ^b	28.37±0.33 ^a	19.42±1.32 ^c	21.33±0.63 ^c	16.24±0.32 ^d
建群种数	2.01±0.02 ^a	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	2.11±0.02 ^a	2.02±0.04 ^a	2.21±0.12 ^a
优势种数	2.21±0.12 ^c	3.02±0.04 ^c	2.02±0.01 ^c	4.14±0.21 ^b	5.36±0.33 ^a	2.25±0.18 ^c
亚优势种数	1.07±0.03 ^c	4.32±0.31 ^b	5.24±0.17 ^a	5.27±0.34 ^a	2.12±0.31 ^d	3.31±0.25 ^c
偶见种数	25.24±0.43 ^a	19.26±1.04 ^c	21.24±0.24 ^b	10.21±0.52 ^c	14.35±0.28 ^d	9.20±0.65 ^f

注:同列不同小写字母表示海拔间的差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 植物群落组成 海拔显著影响草地植物群落建群种、优势种、亚优势种和偶见种的种数($P<0.05$)(表2),影响大小为偶见种>亚优势种>优势种>建

群种。随海拔增加偶见种种数不断下降,偶见种变化范围为9种~25种。海拔2 900~3 099 m亚优势种种数和海拔3 100~3 999 m优势种种数最大,均达5种以

上。6 个海拔梯度具有 2 种以上优势种,但 2 800~2 999 m 有 2~3 种优势种,盖度占比均低于 40%,未达到建群种水平。海拔 2 700~2 799 m 和 $\geq 3\,200$ m 优势种就是建群种,而其他海拔梯度优势种均大于建群种。同一种植物在不同海拔群落中占比差异较大,如高山嵩草(*K. pygmaea*)在海拔 $<3\,000$ m 为亚优势种,海拔 $>3\,000$ m 则为优势种甚至建群种。再如高山早熟禾(*P. alpina*)在海拔 2 700~2 799 m 为偶见种,在海拔 $\geq 3\,200$ m 为亚优势种,其他海拔则为优势种。但有的物种在植物群落占比差异较小,如白苞蒿(*A. lactiflora*)在 6 个海拔群落中均为偶见种。

随海拔升高,优势种类与盖度占比不断变化,表现为群落组成和结构差异较大。其中甘肃苔草(*C. kansuensis*)为 6 个海拔梯度共同的优势种,盖度占比变异范围为 22%~52%,仅在海拔 2 900~2 999 m 为第一优势种,其他海拔均为第二优势种。6 个海拔梯度的植被类型及优势种盖度占比为:海拔 2 700~2 799 m 为钝叶酸模(*Rumex obtusifolia*)(36%)+甘肃苔草(22%),海拔 2 800~2 899 为鹅绒委陵菜(*Potentilla anserine*)(41%)+甘肃苔草(21%)+羊茅(*Fes-*

tuca ovina)(21),海拔 2 900~2 999 m 为甘肃苔草(52%)+高山早熟禾(24),海拔 3 000~3 099 m 为青绿苔草(*C. breviculmis*)(31)+甘肃苔草(28)+高山早熟禾(20),海拔 3 100~3 200 m 为高山嵩草(51)+甘肃苔草(42),海拔 $\geq 3\,200$ m 为高山嵩草(66%)+甘肃苔草(27)。

2.1.3 群落特征 海拔对群落特征参数有极显著影响($P<0.01$)(表 3),随海拔升高,群落高度和物种数不断下降,分别由低海拔的 24.15 和 27.62 种/ m^2 降低逐步到高海拔的 8.25 和 11.33 种/ m^2 ,群落密度、投影盖度和基盖度则分别由低海拔的 4 374.36 枝/ m^2 、90.24%、53.62%,降为中海拔的 1 438.44 枝/ m^2 、50.27%、21.21% 后,高海拔又升为 6 214.24 枝/ m^2 、85.67%、72.21%。海拔 $\geq 3\,200$ m 的群落密度和基盖度显著大于其他海拔,海拔 2 700~2 799 m 的群落高度、物种数和投影盖度显著大于其他海拔($P<0.05$)。海拔 2 900~2 999 m 的群落密度、投影盖度和基盖度显著低于其他海拔($P<0.05$),而物种多样性和物种均匀度显著高于其他海拔($P<0.05$)。

表 3 海拔对植物群落特征的影响

Table 3 Effect of altitude on the plant community characteristics

海拔/m	群落密度/(枝·m ⁻²)	群落高度/cm	物种数	投影盖度/%	基盖度/%	物种多样性	物种丰富度	物种均匀度
2 700~2 799	4 374.36±124.33 ^c	24.15±1.38 ^a	27.62±0.04 ^a	90.24±0.64 ^a	53.62±2.13 ^c	0.24±0.04 ^c	27.50±0.04 ^a	0.07±0.01 ^f
2 800~2 899	2 954.28±122.17 ^e	24.19±2.52 ^a	25.67±0.33 ^b	68.62±2.18 ^d	41.63±3.27 ^e	0.35±0.01 ^b	25.54±0.08 ^b	0.11±0.02 ^b
2 900~2 999	1 438.44±246.22 ^f	19.47±4.04 ^b	26.33±0.25 ^{ab}	50.27±1.31 ^c	21.21±2.07 ^f	0.46±0.02 ^a	26.19±0.02 ^{ab}	0.14±0.01 ^a
3 000~3 099	3 251.25±73.29 ^d	18.34±3.23 ^b	17.69±0.34 ^d	78.24±0.45 ^c	48.32±1.16 ^d	0.24±0.01 ^c	17.57±0.01 ^d	0.08±0.02 ^c
3 100~3 199	5 634.47±82.21 ^b	15.21±1.15 ^c	19.85±0.12 ^c	78.32±0.65 ^c	64.33±0.22 ^b	0.22±0.02 ^c	19.73±0.12 ^c	0.07±0.02 ^c
$\geq 3\,200$	6 214.24±52.12 ^a	8.25±0.32 ^d	11.33±0.33 ^e	85.67±2.22 ^b	71.21±0.17 ^a	0.14±0.02 ^d	11.21±0.01 ^e	0.06±0.01 ^f

2.2 海拔对植物功能群特征的影响

2.2.1 生活型 灌木、半灌木、小半灌木仅在海拔 2 700~2 899 m 零星偶见。随海拔升高,多年生苔草类重要值由低海拔的 32.27% 显著逐步增加($P<0.05$),海拔 $\geq 3\,200$ m 其重要值达 84.75%,为海拔 2 700~2 899 m 的 2.11~2.67 倍。禾本科重要值随海拔升高而先增后降,在海拔 2 900~2 999 m 达最大值 42.02%,海拔 $\geq 3\,200$ m 禾草重要值仅 13.06%,6 个海拔的多年生丛生禾草重要值均大于多年生根茎禾草。多年生杂类草和一年生草本重要值在海拔 2 700~2 799 m 达最大值 22.21% 和 33.81%,其他海

拔间其重要值表现为显著差异($P<0.05$)。

2.2.2 水分生态型 随海拔升高,旱生和旱中生植物重要值显著降低($P<0.05$),中生植物重要值显著增加($P<0.05$)(表 5)。中旱生在海拔 2 700~3 099 m 均为 27% 左右且差异不显著,而 3 100~3 199 m 增为最大值 32.24%, $\geq 3\,200$ m 降为最小值 22.24%。海拔 2 700~2 899 m 旱生和旱中生植物重要值分别是海拔 $\geq 3\,200$ m 的 13.06 倍和 9.82 倍,而生中植物仅为海拔 $\geq 3\,200$ m 的 24.11%。海拔 2 700~2 999 m 间中旱生植物重要值几无差异,海拔 3 100~3 199 m 其重

表4 海拔高度对生活型功能群重要值影响

Table 4 Effect of altitude on important values of life type functional groups of the plant community

海拔/m	灌木半灌木小 半灌木/%	多年生丛生禾 草/%	多年生根茎禾 草/%	多年生苔草类/%	多年生杂类草/%	一、二年生草 本/%
2 700~2 799	0.03±0.01 ^a	8.33±0.12 ^c	3.05±0.14 ^c	32.27±2.15 ^f	22.21±0.21 ^a	33.81±3.34 ^a
2 800~2 899	0.01±0.01 ^a	19.94±1.62 ^b	3.66±0.21 ^b	40.12±3.12 ^c	7.10±0.05 ^d	31.39±0.32 ^b
2 900~2 999	0.00±0.00 ^a	21.32±1.09 ^a	8.17±3.71 ^a	48.21±1.18 ^d	9.77±1.12 ^b	12.53±0.86 ^d
3 000~3 099	0.00±0.00 ^a	8.17±0.09 ^c	3.68±0.04 ^b	63.25±2.04 ^c	8.47±2.11 ^c	16.43±0.71 ^c
3 100~3 199	0.00±0.00 ^a	6.42±0.07 ^d	3.02±0.33 ^c	80.32±3.11 ^b	3.88±0.22 ^e	6.36±0.05 ^e
≥3 200	0.00±0.00 ^a	6.65±0.52 ^d	2.14±0.22 ^d	84.75±2.09 ^a	2.19±0.02 ^f	4.27±1.04 ^f

要值最大,但仅为≥3 200 m最小值的1.45倍。海拔3 000 m左右旱生和旱中生植物重要值快速下降,而中

生重要值快速增加。海拔≥3 200 m中生植物重要值达72.64%,是海拔2 700~2 799 m的4.14倍。

表5 海拔高度对水分生态型和生产型功能群重要值影响

Table 5 Effect of altitude on important values of water ecotypes and productive functional groups of the plant community

海拔/m	水分生态型功能群/%				生产型功能群/%			
	旱生	旱中生	中旱生	中生	莎草类	禾草类	豆科类	杂类草
2 700~2 799	20.25±0.14 ^a	35.07±1.12 ^b	27.15±2.17 ^b	17.53±2.14 ^f	32.04±2.22 ^f	11.52±1.21 ^d	0.00±0.00 ^b	56.44±0.37 ^a
2 800~2 899	17.32±1.01 ^b	31.11±0.36 ^a	27.89±0.46 ^b	23.68±2.36 ^c	36.74±1.15 ^c	25.24±1.04 ^b	0.00±0.00 ^b	38.02±2.16 ^b
2 900~2 999	14.23±3.21 ^c	22.82±1.23 ^c	26.07±1.34 ^b	36.85±2.01 ^d	47.52±0.19 ^d	30.91±2.23 ^a	0.00±0.00 ^b	21.56±3.05 ^c
3000~3 099	4.29±2.72 ^d	15.22±0.21 ^d	28.17±2.07 ^b	52.32±0.02 ^c	67.41±0.16 ^c	13.19±2.12 ^c	0.00±0.00 ^b	19.39±3.22 ^d
3 100~3 199	1.44±1.07 ^e	7.05±1.23 ^c	32.24±1.01 ^a	59.27±0.01 ^b	81.24±0.02 ^b	9.64±1.24 ^e	0.59±1.02 ^a	8.53±0.89 ^e
≥3 200	1.55±0.04 ^e	3.57±1.01 ^f	22.24±0.13 ^c	72.64±1.07 ^a	85.24±0.37 ^a	9.24±0.42 ^c	0.67±0.02 ^a	4.85±0.82 ^f

2.2.2 生产型 随海拔升高,杂类草重要值显著降低($P<0.05$),莎草类重要值显著增加($P<0.05$) (表6),禾草类重要值先增再降,豆科类重要值均<1.00%。海拔2 700~2 799 m杂类草重要值达56.44%,是海拔≥3 200 m的11.64倍。海拔2 800~2 999 m杂类草重要值从56.44%快速下降到21.56%,而莎草科和禾本科重要值分别增加了15.48%和16.39%。禾本科重要值在海拔<3 000 m显著增加,海拔>3 000 m则缓慢下降。莎草科重要值在海拔>3 000 m则快速增加,重要值达到80%以上。

2.3 海拔对草地产量的影响

海拔对高寒草甸草地产量有极显著影响($P<0.01$) (表6),产量变异范围为275.68~1 073.92 g/m²,但海拔间无显著地带性差异。杂类草产量贡献率变异范围为12.52%~69.01%,莎草类产量贡献率变异范围为18.56%~76.31%,杂类草和莎草类是决定草地产量的主要因子。海拔2 700~2 799 m杂类草是第一产量贡献者达69.01%,其他海拔莎草科是决定产量的第一功能群,产量贡献率为55.12%~

76.31%。禾草类产量贡献率在海拔间差异显著($P<0.05$),海拔2 900~2 999 m的贡献率是海拔2 800~2 899 m的4.35倍。豆科类在海拔<3 100 m产量贡献率为0,海拔>3 100 m贡献率也较低。杂类草和莎草类产量贡献率无明显地带性。

3 讨论

海拔显著影响群落物种数、物种丰富度及物种多样性,但因受研究区域、草地类型及利用程度等条件限制,有减少、增加、“单峰”、“驼峰”及无规律等诸多结果^[13-16]。本文中,海拔梯度显著降低植物科数和种数,石竹科、车前科、茜草科、唇形科、玄参科和肾蕨科的只在海拔3 000 m以下分布,豆科和景天科只在海拔3 000 m以上出现。生境因子对植物物种多样性的海拔格局形成起重要作用^[19],海拔引起温度、太阳辐射及风力等地带性因子,影响着不同科属种子散布、植物生长、生活史完成和物种多样性^[10,13],表现为科数的地带性分布。同科不同物种植物对环境因子响应与适应能力,也影响着海拔梯度上的植物的分布格

表 6 海拔高度对草地产量及生产型功能群贡献率的影响

Table 6 Effect of altitude on grassland yield and contribution rate of productive functional groups

海拔/m	鲜草产量/(g·m ⁻²)	产量贡献率/%			
		莎草类	禾草类	豆科类	杂类草
2 700~2 799	1 073.92±34.01 ^a	18.56±3.44 ^d	12.43±1.27 ^c	0.00±0.00 ^c	69.01±4.51 ^a
2 800~2 899	412.48±21.26 ^d	68.85±3.01 ^b	4.69±0.33 ^c	0.00±0.00 ^c	26.45±1.47 ^b
2 900~2 999	388.32±7.24 ^d	60.77±2.54 ^c	20.40±2.04 ^a	0.00±0.00 ^c	18.83±2.09 ^c
3 000~3 099	275.68±12.04 ^c	66.57±2.04 ^b	13.46±1.21 ^c	0.00±0.00 ^c	19.85±4.54 ^c
3 100~3 199	621.76±14.62 ^b	55.12±4.11 ^c	16.60±0.71 ^b	3.40±0.50 ^a	24.88±2.03 ^b
≥3 200	554.56±8.06 ^c	76.31±1.42 ^a	9.87±1.34 ^d	1.30±0.24 ^b	12.52±1.72 ^d

局,表现为海拔梯度上莎草科、禾本科、菊科、伞形科的种数和物种差异性。海拔引起土壤水分、氧分和养分含量等植物立地条件与生存环境的异质性,显著影响植物群落建群种、优势种、亚优势种和偶见种的种类和数量,使不同海拔草甸的植被类型、外貌、结构和数量特征不同。

有研究认为,海拔 3 200 m 是高寒草甸的典型和中心分布生长区^[17],唐家河自然保护区海拔≥3 200 m 的群落密度为 6 214.24 株/m²,高度为 8.25 cm 是典型高寒草甸外观特征。低海拔地区物种多样性会受到降水限制,而高海拔地区则会受到低温胁迫^[10,18],水热共同作用导致海拔 3 000 m 是科数、种数及物种丰富度降低的临界高度。本研究中,海拔 2 900~2 999 m 的坡度大、土层薄、土壤水分养分含量低,但植物种数最多且物种多样性和物种均匀度最高。功能群可简化物种功能研究的复杂性^[4],5 种生活型功能群和 4 种水分生态型重要值相对均衡,多年生禾草、苔草和杂草及一年生草本均可生长,旱生、旱中生、中旱生和中生植物均可存活,导致海拔 2 900~2 999 m 的物种多样性最高。因优势种和亚优势种少,21 种偶见种多为拓展和分生能力弱的杂草类,致使群落密度与盖度最低。同时海拔 3 000 m 也是旱生和旱中生、禾草类和杂草类植物重要值降低,中生和莎草类植物重要值占优的关键高度。海拔 2 800~3 099 m 地形多为急坡和峭坡,坡度影响水分养分截留与供给能力^[20],不仅使草地群落密度、基盖度和产量低,也使优势种和亚优势种种类数量呈随机性分布及功能群重要值呈多向性变化,表明植被群落稳定性差且潜在演替方向多样。加之坡度限制种子库的种子密度和物种丰富度^[21],使草地植被的自我更新与修复能力不足,决定

了该区高寒草甸的脆弱性和对生境变化或外界干扰的敏感性。

4 结论

唐家河自然保护区高寒草甸植物总数为 14 科 43 种,科数和种数随海拔升高而减少。海拔显著影响植物群落建群种、优势种、亚优势种和偶见种的种类和数量,8 种共有植物在 6 个海拔梯度草地中的生长表现和优势度不同,使不同海拔草甸群落的植被类型、外貌、结构和数量特征差异较大。海拔显著影响生活型功能群、水分生态型功能群和生产型功能群的组成和重要值,使不同海拔草甸植被的生存、拓展、分生再生、抗旱和生产能力差异显著。海拔 3 000 m 是高寒草甸科数种数、群落高度、物种丰富度、禾草重要值降低,及中生植物优势度、莎草类产量贡献率增加的临界高度。海拔 2 800~3 099 m 地形为急坡和峭坡,优势种和亚优势种数多,群落密度和基盖度低,功能群差异大且产量低,植被群落稳定性和功能性差,极易受气候变化及人为干扰的影响,应为健康监测、科学研究、功能保护的重点区域。

参考文献:

- [1] 陈江玲,徐京华,甘泉,等. 川滇生态屏障区生态承载力研究:基于生态足迹模型[J]. 中国国土资源经济,2017,30(6):54—58.
- [2] 魏俊,郑维超,杨陈,等. 唐家河国家级自然保护区药用植物资源及多样性特征分析[J]. 西北植物学报,2019,39(7):1307—1315.
- [3] 黄允优,刘守江,胡进耀,等. 唐家河保护区主要植被类型景观格局的梯度分析[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(2):197—202.

- [4] 毛芮,郭碧花,刘金平,等. 寒区公路不同坡度护坡土壤性状和群落特征及功能群差异[J]. 草地学报,2022,30(6): 1150—1157.
- [5] 刘玉祯,刘文亭,冯斌,等. 坡向和海拔对高寒山地草甸植被分布格局特征的影响[J]. 草地学报,2021,29(6): 1166—1173.
- [6] 周华坤,李珊,孙建,等. 三江源区高寒草甸植物群落与土壤理化性质海拔梯度的变化特征[J]. 草地学报,2023, 31(6):1735—1743.
- [7] 纪磊,干友民,罗元佳,等. 川西北不同退化程度高山草甸和亚高山草甸的植被特征[J]. 草业科学,2011,28(6): 1101—1105.
- [8] 于伯华,吕昌河. 青藏高原高寒区生态脆弱性评价[J]. 地理研究,2011,30(12):2290—2295.
- [9] 罗厅,尹晓冬,曲善民,等. 光伏电板对草甸草原植物功能群数量特征的影响[J]. 草原与草坪,2023,43(6): 32—37.
- [10] 胡雪,魏晶晶,马丽,等. 西藏嵩草草甸植物功能群去除影响群落生物量及土壤理化性质[J]. 草地学报,2023, 31(11):3240—3250.
- [11] 郭倩. 草地群落植物种等级划分及重要值方法改进[D]. 兰州:兰州大学,2017.
- [12] 任雪,郭碧花,刘金平,等. 土壤沙化度对再生植物群落特征及草地生产能力的影响[J]. 草原与草坪,2023,43 (2):22—28.
- [13] 王采娥,黄梅,王文银,等. 三江源区高寒坡地退化植物群落多样性和地上生物量海拔梯度的变化特征[J]. 生态学报,2022,42(9):3640—3655.
- [14] 梁大林,唐海萍. 青藏高原两种高寒草地植被变化及其水温驱动因素分析[J]. 生态学报,2022,42(1): 287—300.
- [15] 马玉寿,周华坤,邵新庆,等. 三江源区退化高寒生态系统恢复技术与示范[J]. 生态学报,2016,36(22):7078—7082.
- [16] 刘兴元,龙瑞军. 藏北高寒草地生态补偿机制与方案[J]. 生态学报,2013,33(11):3404—3414.
- [17] Roukos C, Koutsoukis C, Akrida D K, *et al.* The effect of altitudinal zone on soil properties, species composition and forage production in a subalpine grassland in north-west Greece[J]. Applied Ecology and Environmental Research,2017,15(1):609—626.
- [18] 李强,文铜,何国兴,等. 不同海拔高寒草甸土壤微量元素含量及其与植被的关系[J]. 草地学报,2022,30(7): 1731—1737.
- [19] Wang G, Zhou G, Yang L M, *et al.* Distribution, species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in the northern slopes of Qilian Mountains, Gansu, China [J]. Plant ecology, 2003,165(2):169—181.
- [20] 彭艳,孙晶远,马素洁,等. 藏北不同退化阶段高寒草甸植物群落特征与土壤养分特性[J]. 草业学报,2022,31 (8):49—60.
- [21] 赵晓男,唐进年,樊宝丽,等. 高寒地区不同程度沙化草地土壤种子库特征[J]. 草业科学,2020,37(12):2431—2443.

Analysis of the plants community and functional group characteristics of alpine meadow in Tangjiahe Nature Reserve

XIAO Mei^{1,2}, SHEN Li-min³, LIU Jin-ping^{1*}, LI Ming-fu², YIN Cai-yu¹, MU Wen-tao¹

(1. Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, China West Normal University, Nanchong 637009, China; 2. Management Management Office of Tangjiahe National Nature Reserve, Qingchuan 628109, China; 3. Sichuan Academy of Giant Panda, Chengdu 610081, China)

Abstract: [Objective] The study was conducted to analyze the zonal characteristics of alpine meadows under absolute protection, and in order to improve the ecological productivity and management level of Tangjiahe Nature Re-

serve. 【Method】 Six altitude gradients (2 700~2 799 m, 2 800~2 899 m, 2 900~2 999 m, 3 000~3 099 m, 3 100~3 299 m, $\geq 3 200$ m) were set on each of the 3 isolated mountain peaks. The species and quantity, community composition and characteristics, number of dominant species and subdominant species of plants of different altitude gradients were determined. The characteristics of functional groups and yield contribution rate were analyzed according to life type, water ecological type and production type, and the zonal characteristics and community functional group characteristics of alpine meadow plants were studied. 【Result】 There were 43 species in 14 families of plants in alpine meadows, and there were significant differences in the number of plant families and species at different altitudes ($P < 0.05$). The types and quantities of dominant, subdominant, and occasional species in six altitude gradients were different ($P < 0.05$), resulting in a significant impact of altitude on vegetation types and community characteristics ($P < 0.05$). The altitude significantly affected the composition and importance values of functional groups ($P < 0.05$). As the altitude increased, the importance values of perennial carexes in life type, mesophytes in water ecology type, and sedges in production type significantly increased ($P < 0.05$), while the importance values of perennial forbs in life type, xerophyte and xeromesophyte in water ecology type, and forbs in production type significantly decreased ($P < 0.05$). The altitude significantly affected the fresh grass yield of grasslands and the contribution rate of productive functional groups ($P < 0.05$). The Cyperaceae family was the main functional group that determines grassland yield at an altitude greater than 2 800 m. 【Conclusion】 Altitude significantly affected the composition, structure, characteristics, function, and ecological productivity of plant communities. The 3 000 m altitude was a key height for the changes in plant species, community composition, and functional groups. Therefore, developing corresponding protection plans and disturbance measures based on altitude was a basic requirement for improving the ecological function of alpine meadows in Tangjiahe Nature Reserve.

Key words: altitude; alpine meadows; functional group; community characteristics; dominant species

(责任编辑:刘建荣)