

DOI:10.16742/j.zgxcdx.20200192

不同放牧模式对贵南县高寒草甸优势种羊茅叶属性的影响

朱文琰¹,王娅琳²,杨畅²,赵娜³,赵新全³,徐世晓³,孙平^{2,*}

(1.河南科技大学园艺与植物保护学院,河南 洛阳 471003;2.河南科技大学动物科技学院,河南 洛阳 471003;
3.中国科学院西北高原生物研究所,青海 西宁 810008)

摘要:以青海省贵南县高寒草甸的不同放牧管理模式(适度放牧、重度放牧、季节性休牧及封育)草地为对象,通过对不同放牧模式下高寒草甸优势种羊茅8个叶属性的定量分析,研究不同放牧模式对高寒草甸优质牧草羊茅的影响。结果表明:与适度放牧样地相比,羊茅比叶面积在重度放牧后显著升高($P<0.05$),封育后显著下降($P<0.05$),叶干物质含量均呈现下降趋势($P<0.05$)。放牧使羊茅叶N、P含量表现出增加趋势,N/P表现出降低趋势,在重度放牧样地中表现最为明显($P<0.05$)。各样地均有较高N/P,说明P元素是限制羊茅生长的主要营养元素。主成分分析表明,季节性休牧模式下羊茅生长状况较好,重度放牧模式下羊茅生长状况最差。因此,从羊茅叶属性看,应提高休牧模式在草地利用中的比重,降低草地放牧强度,以保证草地质量。

关键词:放牧;叶属性;主成分分析;羊茅

中图分类号:S812.29 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-5021(2021)06-0069-07

植物个体功能性状是研究种群、群落和生态系统的基础和桥梁,利用植物个体功能性状来探索草原植物对放牧的响应与适应机制是草原生态学一个新兴和前沿的领域^[1~3]。叶属性是植物功能性状的重要部分,与植物抵抗干扰和捕获资源能力密切相关^[4],受到学者们广泛关注。其中,比叶面积(Specific leaf area, SLA)、叶干物质含量(Leaf dry matter content, LDMC)、叶片氮含量(Leaf nitrogen content, LNC)和磷含量(Leaf phosphorus content, LPC)等易于量化且与植物叶组织和养分循环密切相关的叶属性被广泛应用于草地植物对放牧响应的研究。张晶等^[5]研究表明,放牧后植物改变了比叶面积和叶干物质含量,以此利用有限资源,快速完成生活史。许雪贇等^[6]研究表明,放牧后植物C/N/P化学计量比发生改变,以调节植物生长所需养分供给。还有研究认为比叶面积可以反映植物对光能的获取能力和生长适应策略,叶干物质含量与植物叶片的支撑结构以及对草食动物的防御能力有关^[7]。植物叶片的氮、磷含量可以直接反映植物的营养状况,氮磷比(Ratio of nitrogen to phosphorus, N/P)也是判定植物营养是否受限的重要指标^[8]。因此,叶属性是衡量草地植物对放牧响应的重要指标。

羊茅(*Festuca ovina* L.)为禾本科羊茅属多年生草本植物,是高寒牧区生态恢复最适宜的野生优良牧草品种之一^[9~10]。其茎叶柔嫩,适口性好,营养价值高,在青海省贵南县天然放牧草地中为优势物种。本研究以贵南县现有的不同草地放牧模式为

基础,比较该地区草地优势植物羊茅在应对不同放牧模式过程中的叶功能属性变化,从而为该地区探索适宜的草地管理模式和合理利用提供一定的实践依据。

1 材料方法

1.1 研究地点概述

青海省贵南县(100°13'~101°33' E, 35°09'~36°08' N)位于青海省东北部,总面积6649.7 km²,年均气温2.3℃,年均日照时数2907.8h,年均降水量400~500mm,年均蒸发量1378.5mm,无霜期40d,属典型的高原大陆性气候。土壤为高山草甸土,草地类型为高寒草甸,主要优势种有羊茅、矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、异针茅(*Stipa aliena*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)等。

1.2 实验设计

1.2.1 样地选取与设置

2016年8月,以当地牧民对高寒草甸的管理方式为参考,选择地形一致、不同管理模式的草地,分

*通信作者, E-mail: pingsunny@msn.com

收稿日期:2020-06-19;修回日期:2020-12-25

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAC05B04-04);青海省重点研发与转化计划项目“贵南黑藏羊产业提质增效关键技术研发与集成示范”(219-NK-173)

作者简介:朱文琰(1976-),女,博士,主要从事草地生态学方面的研究, E-mail: wyzhu@haust.edu.cn

别为:休牧草地(Rest grazing,代号RG),又分为冷季放牧草地(Cold season grazing,代号CSG)和暖季放牧草地(Warm season grazing,代号WSG);适度放牧草地(Moderate grazing,代号MG);重度放牧草地(Heavy grazing,代号HG);封育草地(Enclosure meadow,代号EM)。暖季放牧草地放牧时间为每年4月到10月,冷季放牧草地放牧时间为当年10月至次年4月,放牧期均为6个月,放牧强度约0.68头牛/hm²。适度放牧草地和重度放牧草地全年12个月放牧,放牧强度分别为0.68头牛/hm²和2.14头牛/hm²。封育草地自2013年8月开始封育,禁牧期为3年。

每处理分别随机设5个1m×1m小样方,从中选取10~20株植株,采集健康、完整的成熟羊茅叶片。叶片采集后放入冷藏箱中保存,带回实验室。其中,一部分用浸湿滤纸包裹置于4℃恒温冰箱中黑暗保存24h,称取叶饱和鲜重(Leaf fresh weight, LFW),并用叶片扫描仪扫描后计算叶面积(Leaf area, LA);而后放入烘箱105℃杀青,65℃烘干至恒重,称取叶干重(Leaf dry weight, LDW),计算叶干物质含量和比叶面积^[11]。另一部分直接烘干至恒重,粉碎过0.3mm筛(60目)后测元素含量并计算叶片N/P。其中,磷含量采用钼锑比色法测定,氮含量采用凯氏定氮法进行测定^[12]。

1.2.2 数据处理

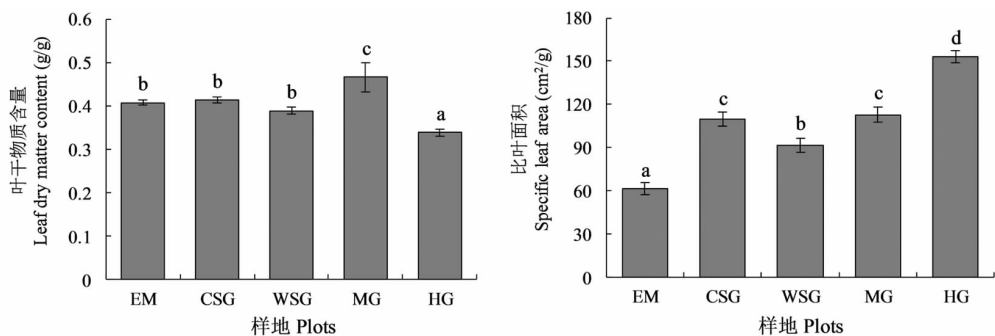
使用SPSS 20.0进行统计分析,用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较比叶面积、叶干物质

含量、叶氮和磷含量及氮磷比差异,用Pearson检验比较各属性间相关性。利用主成分分析对叶片干重、鲜重、干物质含量、比叶面积、氮含量、磷含量及氮磷比进行分析。主成分分析计算之前,因指标的量纲不统一,对数据先进行标准化处理,然后用主成分分析比较各属性在植物生长中的影响,其中主成分因子的权重=因子贡献率/入选因子的累计贡献率。用Microsoft 2010做图、表。

2 结果分析

2.1 不同放牧模式下羊茅叶干物质含量和比叶面积变化特征

不同放牧模式下羊茅叶干物质含量变化范围为0.36~0.60g/g,均值为适度放牧样地>封育样地=冷季放牧样地>暖季放牧样地>重度放牧样地(图1)。其中,适度放牧样地叶干物质含量最高,且显著高于其他样地($P<0.05$);重度放牧样地羊茅叶干物质含量最低,且显著低于其他样地($P<0.05$);封育样地、冷季放牧样地、暖季放牧样地无显著差异。不同放牧模式下羊茅比叶面积变化范围为47.69~141.05cm²/g,均值排序为重度放牧样地>适度放牧样地>冷季放牧样地>暖季放牧样地>封育样地。其中,重度放牧样地比叶面积最大,且显著高于其他样地($P<0.05$);封育样地比叶面积最小,且显著低于所有放牧样地($P<0.05$);冷季放牧样地和适度放牧样地比叶面积差异不显著,但显著高于封育样地和暖季放牧样地($P<0.05$)。



不同小写字母表示不同放牧模式样地间差异显著($P<0.05$),下同
Different lowercase letters indicate significant differences in different grazing mode plot($P<0.05$), the same as below

图1 不同样地中羊茅叶干物质含量和比叶面积比较

Fig. 1 Comparisons of leaf dry matter content and specific leaf area for *F. ovina* in different plots

2.2 不同放牧模式下羊茅氮、磷及氮磷比变化特征

不同放牧模式下羊茅叶氮含量的变化范围为14.89~24.30g/kg,均值为重度放牧样地>适度放牧样地>暖季放牧样地>冷季放牧样地>封育样地

(图2),说明放牧后植物叶氮含量有增加趋势。其中,重度放牧样地叶氮含量最高;封育样地叶氮含量最低;封育、冷季放牧和暖季放牧样地中羊茅叶氮含量无显著差异,而适度放牧、重度放牧样地显著高于

这三个样地($P < 0.05$)。不同放牧模式下羊茅叶磷含量的变化范围为 $0.53 \sim 1.71 \text{g/kg}$, 均值为重度放牧样地 $>$ 冷季放牧样地 $>$ 适度放牧样地 $>$ 暖季放牧样地 $>$ 封育样地。其中, 重度放牧样地中磷含量均值最大, 且显著高于其他样地($P < 0.05$); 封育样地叶磷含量均值最小, 显著低于适度放牧及重度放牧样地($P < 0.05$), 说明放牧后植物叶磷含量有增加趋势。

不同放牧模式下羊茅叶氮磷比范围为 $13.09 \sim$

28.91 , 各样地氮磷比均值为封育样地 $>$ 适度放牧样地 $>$ 暖季放牧样地 $>$ 冷季放牧样地 $>$ 重度放牧样地。其中, 封育样地氮磷比均值最大(26.05), 且显著高于除适度放牧样地外的其他样地($P < 0.05$); 重度放牧样地氮磷比均值最小(14.41), 且显著低于其他样地($P < 0.05$); 叶氮磷比在暖季放牧样地与适度放牧样地和冷季放牧样地间差异不明显, 但冷季放牧样地与适度放牧样地间差异显著($P < 0.05$)。

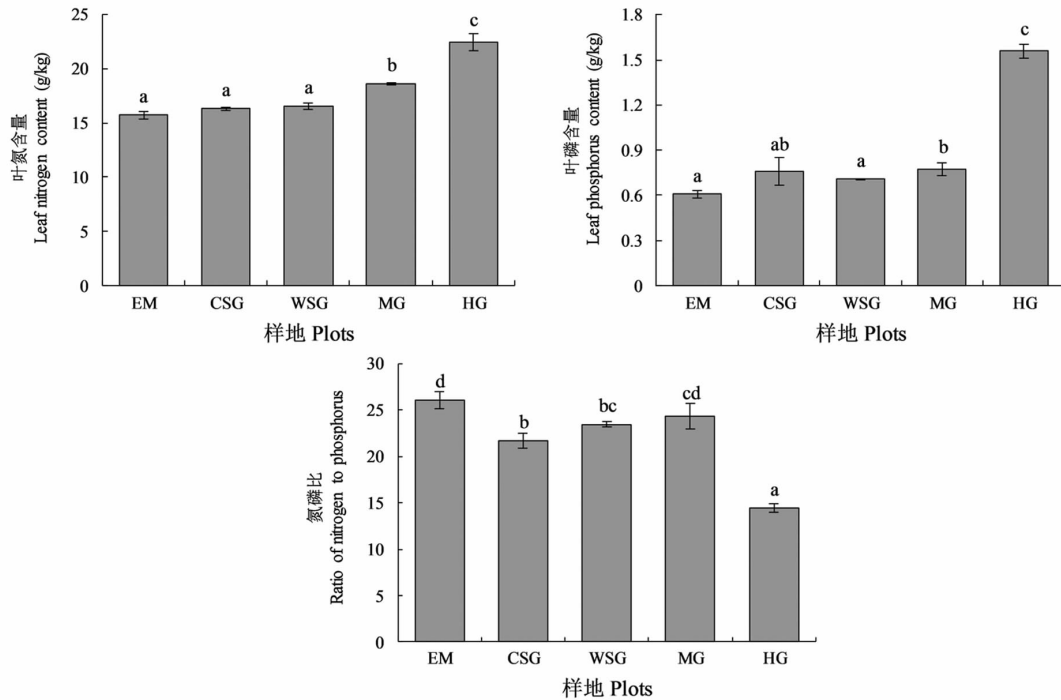


图 2 不同样地中羊茅叶氮、磷含量及氮磷比比较

Fig. 2 Comparisons of nitrogen, phosphorus and N/P for *F. ovina* in different plots

2.3 各叶片功能属性间相关性分析

由表 1 可知, 叶干重与叶鲜重、叶面积呈极显著正相关($P < 0.01$), 与比叶面积、叶氮和磷含量呈显著负相关($P < 0.05$), 与其他属性值无显著相关性; 叶鲜重与叶面积呈极显著正相关($P < 0.01$), 与其

他性状间相关不显著; 叶干物质含量与叶磷含量呈显著负相关($P < 0.05$), 与氮磷比呈显著正相关($P < 0.05$); 比叶面积与叶片氮、磷含量呈极显著正相关($P < 0.01$), 与氮磷比呈极显著负相关($P < 0.01$); 叶片氮、磷及氮磷比两两极显著相关($P < 0.01$)。

表 1 叶片功能属性间相关性分析

Table 1 Correlation analysis between functional properties of each leaf

指标 Index	叶干重 Leaf dry weight(g)	叶鲜重 Leaf fresh weight(g)	叶面积 Leaf area(cm^2)	叶干物质含量 Leaf dry matter content(g/g)	比叶面积 Specific leaf area(cm^2/g)	氮含量 Leaf nitrogen content(g/kg)	磷含量 Leaf phosphorus content(g/kg)	氮磷比 Ratio of nitrogen to phosphorus
叶干重	1							
叶鲜重	0.979**	1						
叶面积	0.840**	0.885**	1					
叶干物质含量	-0.044	-0.234	-0.287	1				
比叶面积	-0.426*	-0.347	0.080	-0.264	1			
氮含量	-0.399*	-0.314	-0.050	-0.363	0.810**	1		
磷含量	-0.401*	-0.285	-0.021	-0.512*	0.839**	0.919**	1	
氮磷比	0.316	0.203	-0.111	0.487*	-0.821**	-0.758**	-0.932**	1

注: * 表示显著相关($P < 0.05$), ** 表示极显著相关($P < 0.01$)。

Note: * indicates a significant correlation at the 0.05 level, ** indicates a significant correlation at the 0.01 level

2.4 叶片各功能性状主成分分析

2.4.1 贡献率和累计贡献率

依据特征值 >1 , 累计贡献率 $\geq 85\%$ 原则, 本研究提取了2个主成分(表2), 累计贡献率达92.109%, 即前两个主成分可以反映出全部指标信息的92.109%。其中, 第一主成分总方差贡献率为58.156%, 第二主成分总方差贡献率为33.953%。第一主成分中, 叶片氮、磷、氮磷比及叶鲜重为主要影响因子; 第二主成分中, 叶面积为主要影响因子。

表2 初始因子荷载矩阵、特征向量及主成分贡献率

Table 2 Initial factor loading matrix, eigenvectors and principal component contribution rate

指标 Index	主成分 Principal component		特征向量 Eigenvector	
	1	2	1	2
	叶干重	0.664	0.738	0.308
叶鲜重	-0.922	0.134	-0.428	0.081
叶面积	0.207	0.942	0.096	0.572
比叶面积	0.553	0.830	0.256	0.504
叶干物质含量	0.535	-0.629	0.248	-0.382
叶氮含量	-0.942	0.175	-0.437	0.106
叶磷含量	-0.967	0.235	-0.448	0.143
氮磷比	0.951	-0.308	0.441	-0.187
特征值	4.652	2.716	4.652	2.716
方差贡献率	58.156	33.953	58.156	33.953
累计方差贡献率	58.156	92.109	58.156	92.109

2.4.2 特征向量和主成分方程

根据特征值和主成分的载荷值计算每个主成分的特征向量, 再依据特征向量建立主成分方程。两个主成分方程为: $F1 = 0.308 \times LDW + 0.096 \times LA - 0.428 \times SLA + 0.256 \times LFW + 0.248 \times LDMC - 0.437 \times LN - 0.448 \times LP + 0.441 \times (N/P)$; $F2 = 0.448 \times LDW + 0.572 \times LA - 0.0813 \times SLA + 0.504 \times LFW - 0.382 \times LDMC + 0.106 \times LN + 0.143 \times LP + 0.187 \times (N/P)$ 。主成分方程展示出各指标间的线性关系, 权数即特征向量, 表示各单项指标对于主成分的重要性。由方程可见, 第一主成分中叶片磷含量重要值最大(-0.448), 第二主成分中叶面积重要值最大(0.572)。

2.4.3 综合评价

主成分综合得分越高, 说明羊茅生长状况越好。从表3可以看出, 5个样地羊茅生长状况综合得分为暖季放牧样地 $>$ 封育样地 $>$ 冷季放牧样地 $>$ 适度放牧样地 $>$ 重度放牧样地。

表3 不同放牧模式样地主成分得分及综合得分

Table 3 The principal component value and comprehensive value of different grazing mode plots

样地 Plots	第一主成分得分(F1) Frist principal component value(F1)	第二主成分得分(F2) Second principal component value(F2)	综合得分(F) Comprehensive value(F)
封育	1.635	-0.901	0.700
冷季放牧	0.105	-1.075	-0.330
暖季放牧	1.816	2.512	2.073
适度放牧	-0.002	-1.373	-0.508
重度放牧	-3.553	0.838	-1.935

3 讨论

放牧是人类利用草地的主要方式之一, 通过家畜的采食、践踏以及排泄物输入等影响草地生态系统, 改变植物的功能性状及草地生态系统的物质循环和能量流动等过程^[9,13-14]。Cruz等^[14]在研究中发现, 一些植物在放牧干扰下会出现高比叶面积、低叶干物质含量的现象, 即减少自身叶组织密度, 提高光合速率, 以加快自身生长速度, 从而应对放牧导致的植物组织损失。本文中重度放牧后的羊茅即表现出高比叶面积和低干物质含量现象, 与上述研究结果一致。但与封育样地相比, 两个休牧样地叶干物质含量变化不显著, 原因是羊茅叶干物质含量对轻度干扰不敏感, 这与Niu等^[15]研究结果一致。

有研究表明, 植物对放牧的适应有两种表现: 放牧适应型和放牧逃避型^[16], 放牧适应型的物种在放牧后生长速度加快, 比叶面积增大。本研究中, 所有放牧样地羊茅均表现出较高SLA, 表现出放牧适应型牧草的特性。王鑫等^[17]也认为, 羊茅具有较强的耐牧耐盐等生长特性, 与本文结果相同。放牧下植物表现出高干物质含量、低比叶面积为植物的保守型生存策略, 低叶干物质含量、高比叶面积为快速生长型生存策略^[14]。本研究中重度放牧样地中羊茅明显表现出低叶干物质含量、高比叶面积的快速生长型生存策略, 而封育样地中羊茅表现为高干物质含量、低比叶面积, 是典型的保守型策略。原因是重度放牧后羊茅地上生物量损失较多, 植株为保证正常生命周期, 弥补重度放牧带来的伤害, 在生长条件适宜的8月快速生长, 提高自身竞争力。而封育样地经过休整后, 样地生长条件适宜, 植株生长茂盛, 种间竞争激烈, 羊茅表现出保守型生存策略以应对种间竞争。

叶片氮、磷含量反映了植物生长中的养分需求, 受环境影响较大。本研究中羊茅叶片氮、磷含量在

放牧后有增高趋势,且在重度放牧样地表现最为明显,这与李红琴等^[8]研究结果相似。原因是重度放牧导致土壤等环境条件恶化,植物生长加快,保持较高的氮、磷含量,以快速吸收营养元素,提高生长速率^[18]。还有研究表明,放牧增加植物地上幼嫩部位的比例,而幼嫩叶片中氮、磷含量较高^[18]。封育样地中叶氮、磷含量均处于较低值,可能是样地经过3年封育后,植物种间竞争激烈,羊茅生长处于保守型生长策略,从而减少了叶片养分含量,这也与比叶面积和叶干物质含量表现一致。氮磷比可描述植物生长的养分受限情况,Güsewell^[19]认为,氮磷比大于16时植物受磷限制,氮磷比在13~16之间时植物受氮磷共同限制,氮磷比小于13时植物受氮限制。本文结果显示,除了重度放牧样地中氮磷比为14.41外,其余样地氮磷比均大于16,说明羊茅的生长主要受磷含量限制。从主成分分析可看出,叶片磷含量为第一主成分中影响系数最大的因子,与氮磷比反应一致。这可能与高寒草甸土壤中磷含量减少有关^[20]。Zeng等^[21]认为过度放牧会导致氮元素流失快于磷元素,这可能也是本文中重度放牧样地羊茅生长不仅受磷元素限制,还受氮元素限制的原因。周鹏等^[22]认为植物生长过程中会将有限的资源最优分配到不同结构和功能中,使其共同作用于植物最大适合度的获得和后代繁衍。本研究中,多数叶片属性值间存在显著相关性,说明叶属性在羊茅生长过程中也表现出协调作用,共同维持羊茅生长。

本文通过主成分分析对各样地进行了综合评价,更直观地以质量综合得分为依据来判断草地中羊茅的生长状况,从而推测该放牧模式下草地健康状况。从综合得分看出,暖季放牧样地、封育样地及冷季放牧样地得分排在前三位,说明羊茅在这三个样地中生长情况较好;重度放牧草场得分最低,说明重度放牧草场中羊茅生长状况最差。研究表明,适度放牧可以促进植物生长代谢^[6],且适度放牧减小了优势种的绝对优势^[23],使羊茅更有竞争力。封育样地和冷季放牧样地得分值低于暖季放牧样地,原因是样地封育后,羊茅受到生长高度更高的优势植物对光和空间的竞争,增加了种间竞争^[24];而冷季放牧样地在冬季利用后地上凋落物生物量减少,增加了返青期光照,改善了草地环境,使植物生长更快,也增加了种间竞争^[25],从而使羊茅生长受到一定限制。综上所述,从优势种羊茅生长状况来看,贵

南县可在放牧管理中尽量多的采用休牧模式,并定期对草地进行封育恢复,以保证草地健康。重度放牧对草地影响较大,应尽量减少在草地利用中的比例。

4 结论

优势种羊茅叶属性受放牧影响较大。放牧后羊茅叶片比叶面积增大,叶氮、磷含量增加,属于放牧适应型牧草。不同放牧模式中羊茅表现出不同的生长策略,封育样地中表现出保守型生存策略,重度放牧样地中表现为快速生长型生存策略。综合分析表明,两个季节性休牧草地和封育草地中羊茅生长状况较好,而重度放牧样地中羊茅生长状况最差。因此,从羊茅叶属性来看,该县可在一定程度上增加休牧草地,并定期进行封育以保持草地的生产力和健康。

参考文献 (References):

- [1] Zheng S X, Ren H Y, Lan Z C, et al. Effects of grazing on leaf traits and ecosystem functioning in Inner Mongolia grasslands: scaling from species to community[J]. *Biogeosciences*, 2010, 7(3): 1117-1132.
- [2] Bernard-Verdier M, Navas M L, Vellend M, et al. Community assembly along a soil depth gradient: contrasting patterns of plant trait convergence and divergence in a Mediterranean rangeland[J]. *Journal of Ecology*, 2012, 100(6): 1422-1433.
- [3] 赵娜,赵新全,赵亮,等.植物功能性状对放牧干扰的响应[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(7): 1916-1926.
Zhao Na, Zhao Xinquan, Zhao Liang, et al. Progress in researches of the response of plant functional traits to grazing disturbance[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(7): 1916-1926.
- [4] 张景慧,黄永梅,陈慧颖,等.去除干扰对内蒙古典型草原植物叶片功能属性的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(18): 5902-5911.
Zhang Jinghui, Huang Yongmei, Chen Huiying, et al. Effect of disturbance removal on leaf functional traits of plants in the Inner Mongolia steppe[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(18): 5902-5911.
- [5] 张晶,左小安,杨阳,等.科尔沁沙地草地植物群落功能性状对封育和放牧的响应[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(24): 261-268.
Zhang Jing, Zuo Xiaohan, Yang Yang, et al. Response of plant community functional traits in different grasslands to enclosure and grazing in Horqin sandy land[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(24): 261-268.
- [6] 许雪赞,曹建军,杨淋,等.放牧与围封对青藏高原草地土壤和

- 植物叶片化学计量学特征的影响[J].生态学杂志, 2018, 37(5): 1349-1355.
- Xu Xueyun, Cao Jianjun, Yang Lin, et al. Effects of grazing and enclosure on foliar and soil stoichiometry of grassland on the Qinghai-Tibetan plateau[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(5): 1349-1355.
- [7] Rusch G M, Skarpe C, Halley D J. Plant traits link hypothesis about resource-use and response to herbivory[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2009, 10(5): 466-474.
- [8] 李红琴,毛绍娟,祝景彬,等.放牧强度对高寒草甸群落碳氮磷化学计量学特征的影响[J].草业科学, 2017, 34(3): 449-455.
- Li Hongqin, Mao Shaojuan, Zhu Jingbin, et al. Effects of grazing intensity on the ecological stoichiometry characteristics of alpine meadow[J]. *Pratacultural Science*, 2017, 34(3): 449-455.
- [9] 张鲜花,朱进忠,吴咏梅.天山北坡羊茅草原群落结构与数量特征的动态变化[J].草地学报, 2012, 20(5): 819-824.
- Zhang Xianhua, Zhu Jinzhong, Wu Yongmei. Dynamic of community structure and quantitative characteristics of *Festuca ovina* grassland in the northern slope of Tianshan mountains [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 20(5): 819-824.
- [10] 金忠民,沙伟,张艳馥,等.羊茅种子愈伤组织诱导及再生体系的建立[J].草业科学, 2010, 27(10): 60-63.
- Jin Zhongmin, Sha Wei, Zhang Yanfu, et al. Establishment of regeneration system and callus inducing of *Festuca ovina* seeds[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 27(10): 60-63.
- [11] Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies[J]. *New Phytologist*, 2010, 143(1): 155-162.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第3版.北京:中国农业出版社, 2013: 72-75.
- Bao Shidan. Soil agricultural chemistry analysis[M]. Third version. Beijing:China Agriculture Press, 2013: 72-75.
- [13] 曲艳,李青丰,段茹晖,等.放牧方式对暖温型草原区短花针茅群落特征及 α 多样性的影响[J].中国草地学报, 2019, 41(4): 87-93.
- Qu Yan, Li Qingfeng, Duan Ruhui, et al. Effects of grazing methods on community characteristics and alpha diversity of *Stipa breviflora* in warm-temperate steppe[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(4): 87-93.
- [14] Cruz P, Quadros F L F D, Theau J P, et al. Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the south of Brazil[J]. *Rangeland Ecology & Management*, 2010, 63(3): 350-358.
- [15] Niu K C, Messier J, He J S, et al. The effects of grazing on foliar trait diversity and niche differentiation in Tibetan alpine meadows[J]. *Ecosphere*, 2015, 6(9): 1-15.
- [16] 刘文亭,卫智军,吕世杰,等.内蒙古荒漠草原短花针茅叶片功能性状对不同草地经营方式的响应[J].生态环境学报, 2016, 25(3): 385-392.
- Liu Wenting, Wei Zhijun, Lv Shijie, et al. Response of grassland using modes to leaf trait of *Stipa breviflora* in desert steppe of Inner Mongolia[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2016, 25(3): 385-392.
- [17] 王鑫,胡玉昆,热合木都拉·阿迪拉,等.巴音布鲁克高寒草原羊茅(*Festuca ovina*)群落生态位特征[J].干旱区地理, 2009, 32(2): 255-260.
- Wang Xin, Hu Yukun, Rehemedula Adila, et al. Niche characteristics of *Stipa purpurea* community in alpine meadow of Bayanbulak[J]. *Arid Land Geography*, 2009, 32(2): 255-260.
- [18] 高巧静,朱文琰,侯将将,等.放牧强度对高寒草甸植物叶片生态化学计量学特征的影响[J].中国草地学报, 2019, 41(3): 45-50.
- Gao Qiaojing, Zhu Wenyan, Hou Jiangjiang, et al. Effects of grazing intensity on ecostochiometric characteristics of plant leaves in alpine meadow[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(3): 45-50.
- [19] Güsewell S. Nutrient resorption of wetland graminoids is related to the type of nutrient limitation[J]. *Functional Ecology*, 2005, 19(2): 344-354.
- [20] 王建林,钟志明,王忠红,等.青藏高原高寒草原生态系统植被磷含量分布特征及其影响因素[J].草地学报, 2014, 22(1): 27-38.
- Wang Jianlin, Zhong Zhiming, Wang Zhonghong, et al. Distribution characteristics and influence factors of vegetation phosphorus content of alpine grassland ecosystem in Qinhai-Tibet plateau[J]. *Acta Agrictia Sinica*, 2014, 22(1): 27-38.
- [21] Zeng Q C, Liu Y, Fang Y, et al. Impact of vegetation restoration on plants and soil C : N : P stoichiometry on the Yunwu mountain reserve of China[J]. *Ecological Engineering*, 2017, 109: 92-100.
- [22] 周鹏,耿燕,马文红,等.温带草地主要优势植物不同器官间功能性状的关联[J].植物生态学报, 2010, 34(1): 7-16.
- Zhou Peng, Geng Yan, Ma Wenhong, et al. Linkages of functional traits among plant organs in the dominant species of the Inner Mongolia grassland, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 7-16.
- [23] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等.放牧强度对高寒草甸土壤理化性状和植物功能群的影响[J].生态学报, 2018, 38(14): 5006-5016.
- Niu Yujie, Yang Siwei, Wang Guizhen, et al. Effects of grazing disturbance on soil properties and plant functional groups and their relationships in an alpine meadow on the Tibetan plateau, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(14): 5006-5016.
- [24] 贾志锋,马祥,徐成体,等.短期封育对贵南县轻度退化高寒草甸植被特征的影响[J].草业科学, 2019, 36(11): 2766-2774.
- Jia Zhifeng, Ma Xiang, Xu Chengti, et al. Effects of short-term enclosure on the vegetation characteristics of a lightly degraded alpine meadow in Guinan county[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(11): 2766-2774.
- [25] 周建琴,田贇,吴雨晴,等.不同放牧方式下的草场植被群落特征及其与土壤因子的关系——以新巴尔虎左旗为例[J].生态

环境学报, 2019, 28(6): 1117-1126.

Zhou Jianqin, Tian Yun, Wu Yuqing, et al. Characteristics of grassland vegetation community under different grazing man-

agement and its relationship with soil factors: a case study of Xin Barag Zuoqi[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2019, 28(6): 1117-1126.

Effects of Different Grazing Pattern on Leaf Characteristics of *Festuca ovina* in Alpine Meadow of Guinan County

ZHU Wen-yan¹, WANG Ya-lin², YANG Chang²,
ZHAO Na³, ZHAO Xin-quan³, XU Shi-xiao³, SUN Ping²

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 2. College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 3. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: In order to study the effects of different grazing patterns in alpine meadow, eight leaf traits of *Festuca ovina*, a dominant species in alpine meadow, were quantitatively analyzed under different grazing patterns (moderate grazing, heavy grazing, seasonal rest grazing and enclosure) in Guinan County, Qinghai Province. The results showed that compared with moderate grazing, specific leaf area (SLA) of *F. ovina* was increased significantly after heavy grazing ($P < 0.05$), decreased significantly after enclosure ($P < 0.05$), and the dry matter content of leaves showed a decreased trend ($P < 0.05$). The content of N and P in leaves of *F. ovina* increasing trend and N/P showed a decreasing trend after grazing, which was most obvious in the heavy grazing plot ($P < 0.05$). The N/P ration was higher in all plots, which indicated that P was the main nutrient element limiting the growth of *F. ovina*. Principal component analysis showed that the growth of *F. ovina* was better under the seasonal rest grazing mode, and the worst under the heavy grazing mode. Therefore, from the leaf characteristics of *F. ovina*, the proportion of seasonal rest grazing mode in grassland utilization should be increased, and grazing intensity should be reduced to ensure grassland quality.

Key words: Grazing; Leaf characteristics; Principal component analysis; *Festuca ovina*

【责任编辑 胡卉芳】