

高寒草原退化对植物群落及土壤理化性质的影响

王 婷,花 蕊,楚 彬,周 睿,叶国辉,牛钰杰,唐庄生,花立民

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:以空间分布代替时间演替的方法,调查黄河源区玛多县高寒草原退化过程中植物群落特征和土壤理化特性的变化,探讨植物群落与土壤理化特性对退化的响应。结果表明:(1)不同退化梯度下植物优势种变化明显,从轻度退化到重度退化,草地优势种由紫花针茅和矮嵩草逐渐向杂类草转变,极度退化下变为沙生植物为主;(2)随着草地退化加剧,植物物种重要值、丰富度、多样性、均匀度以及地上生物量均呈先增加后降低的趋势,但轻度退化草地地上生物量比未退化草地高 21.5%,其与不同物种在退化演替过程中的消长变化密切相关;(3)土壤有机质、全氮、全磷以及 pH 表现出随退化程度加剧呈显著降低($P<0.05$)的趋势。土壤容重随退化程度加剧而显著增加,土壤通气孔隙度随退化程度加剧而显著降低。通过分析,草地退化首先影响土壤物理属性,进而影响草地群落物种组成,导致草地生产力明显降低。

关键词:高寒草原;退化程度;群落特征;土壤因子

中图分类号:S812.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)04-0065-07

近年来,在气候变化和人为干扰加剧的影响下,全球草地生态系统呈现出不同程度退化^[1-2]。截止目前,青藏高原黄河源区 1/3 的草地出现不同程度的退化,其中,严重退化草地面积占退化草地面积的 26.79%^[3]。高寒草原是黄河源区主要的草地类型,由于自身的脆弱性和低稳定性,对气候变化和人类干扰反应敏感^[4]。因此,研究高寒草原植物和土壤对其退化的响应,对于草地植被恢复与重建具有重要意义。

植物群落特征变化与草地退化具有协同性。植物对退化的应对策略使得植物群落组成发生改变,进而影响草地植物群落的分布格局。因此,明晰群落物种

随环境因子的变化规律,特别是植物与土壤的相互关系,可以在更大的时间和空间尺度上对群落物种的分布格局进行准确预测^[5],这也是当前生态学研究的重点领域^[6-7]。有关植物和土壤特性对退化的响应目前已开展了大量研究。但是高寒草原作为青藏高原重要的生态系统单元,多数研究只关注不同退化程度下植物群落单一特征和土壤理化性质的变化,未能从整体上考虑群落物种组成与土壤因子的关系。因此,明晰退化过程中植物物种与土壤因子的关系,对进一步了解植物与土壤间的复杂生态学过程有重要作用。

以青藏高原黄河源区玛多县不同退化阶段的高寒草原为研究对象,选择不同退化程度的草地,以空间分布代替时间演替的方法,研究草地植物群落特征、土壤理化特性变化及其相互关系,探讨高寒草原植被群落结构和土壤特性对草地退化的响应。以期为干旱生境高寒草原的恢复与重建提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原黄河源区扎陵湖边的一级阶

收稿日期:2019-03-06; **修回日期:**2019-04-02

基金项目:国家重点研发计划项目(No. 2016YFC0501902, No. 2017YFC0504803);甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目资助

作者简介:王婷(1992-),女,甘肃会宁人,在读硕士。

E-mail:wangting921221@163.com

花立民为通讯作者。

E-mail:hualm@gsau.edu.cn

地,地理位置 N 33°50′~ 35°40′、E 96°50′~ 99°20′,隶属青海省果洛藏族自治州玛多县。平均海拔 4 200 m,空气稀薄,气候寒冷。玛多县属于高原大陆性半湿润气候,年均温-5.3~-2.4℃,最冷月 1 月的平均温度为-12.6℃,最热月 7 月的平均气温为9.7℃,无绝对的无霜期,年均降水量 247.8~484.8 mm。植被类型以高寒草原为主,优势物种为紫花针茅(*Stipa purpurea*),二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)和弱小火绒草(*Leontopodium pusillum*)^[3]。

1.2 试验设计

取样区位于三江源国家公园,于 2016 年建立后实行全面禁牧。以空间分布代替时间演替的方法,根据草地群落盖度,高度和优势物种判断退化等级。在研

究区选取 5 块处于不同退化程度的调查样地。按退化程度从轻到重依次标记为样地 1~5。每块样地面积平均为 100 m×100 m。在 5 块样地中随机设置 5 个(50 cm×50 cm)调查样方。于 2017 年 8 月初进行植物群落调查与土壤取样,各退化样地内植物群落盖度和高度有明显差异(表 1)。

1.3 调查取样

1.3.1 植物群落调查 每个 50 cm×50 cm 样方中,用针刺法测定每一物种的盖度,每一物种随机选取 10 株,分别测量其高度;在每块样地内随机抛样圆 30 次,记录每一物种出现的频度^[8]。用最大值标准化法计算物种高度、盖度和频度的相对值。

1.3.2 土壤取样 选取主要理化指标来阐明不同退

表 1 试验地信息

Table 1 Information of plots

样地号	经度	纬度	海拔/m	盖度/%	群落高度/cm	退化程度
1	E 97°54′42″	N 34°54′42″	4 320	94.00±1.14 ^a	9.75±0.54 ^a	未退化
2	E 97°40′10″	N 35°02′27″	4 305	76.00±3.27 ^b	3.12±0.18 ^b	轻度退化
3	E 97°35′33″	N 35°04′09″	4 375	70.00±3.94 ^b	3.54±0.77 ^b	中度退化
4	E 97°39′35″	N 35°07′00″	4 369	44.40±6.92 ^c	1.64±0.11 ^c	重度退化
5	E 97°39′17″	N 35°06′00″	4 390	16.80±3.51 ^d	4.09±0.32 ^b	极度退化

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同
化程度的高寒草原植物群落特征变化。即土壤容重,土壤含水量,通气孔隙度,土壤全氮,全磷,全钾,有机质和 pH。

土壤取样与植被调查取样在同一样地。用直径为 7 cm 的土钻分别取 0~10,10~20 和 20~30 cm 土层的土样,每一层 3 个重复,装入自封袋带回实验室进行风干。然后过 2 mm 土壤筛去除根系和砾石,进行土壤化学指标分析。土壤容重和质量含水量用环刀(100 cm³)分别取 0~10,10~20 和 20~30 cm 土层的土样,每一层 3 个重复,之后装入铝盒带回实验室称其鲜重,再在烘箱 105℃下烘干至恒重称其干重^[9]。

土壤有机质采用重铬酸钾氧化-稀释热法测定;土壤样品经浓硫酸和混合催化剂(硫酸钠-硫酸铜-硒)消解样品后,全氮用 AA3 型连续流动分析仪测定,全磷用钼锑抗比色法测定,全钾用火焰光度计法测定;土壤 pH 测定采用 pHSJ-4A 型 pH 计^[10]。

1.4 数据分析

1.4.1 物种丰富度,盖度和重要值 物种丰富度用每个样方内物种数表示。盖度用样方内物种的分盖度之

和表示。物种重要值计算(IV)公式:

$$IV=\frac{A+B+C}{3}$$

式中:A 为相对盖度;B 为相对频度;C 为相对高度。

群落重要值计算公式:

$$IV'=\sum_{i=1}^n IV_i$$

式中:IV'为群落重要值,IV_i为群落中的物种重要值,n 为群落内总物种数。

1.4.2 植物群落 α 多样性指数和均匀度指数 植物群落 α 多样性指数选用 Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i (P_i=\frac{n_i}{N})$$

均匀度指数选用 Pielou 指数:

$$E=(-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i)/\ln S$$

式中:S 为物种的种类数,N 为群落中所有物种的多度之和,P_i是种 i 的相对重要值。

1.4.3 土壤通气孔隙度 土壤总孔隙度计算公式:

$$\text{总孔隙度}=(1-\frac{\text{容重}}{\text{土壤密度}})\times 100\%$$

通气孔隙度=总孔隙度-土壤容积含水量

1.4.4 单因素方差分析和多元排序 用 Excel 2010 进行数据处理,用 Spass19.0 进行方差分析,用 LSD 法进行多重比较。为评估环境因子对群落物种组成的影响,以物种重要值作为基础数据,分别计算每个环境因子的总效应和净效应^[11]。试验分析的显著性均由 MonteCarlo 随机置换(499 次)检验进行检验。

2 结果与分析

2.1 不同退化程度高寒草原的植物群落特征

研究共调查到 20 科 36 属 48 种植物。不同退化梯度下植物优势种不同。从轻度退化到重度退化,植物群落优势种由紫花针茅和矮蒿草逐渐向杂类草转变,最后转为沙生植物为主的草地。退化对高寒草原植物群落丰富度、均匀度、多样性、重要值和地上生物量影响显著($P<0.05$)。随着草地退化加剧,植物群

落重要值、丰富度、多样性、均匀度以及地上生物量呈先增加后降低的趋势。从未退化阶段到极度退化阶段,群落重要值由 2.31 降到 1.09;丰富度由 16.40 降到 8.20;物种多样性 Shannon-Wiener 指数由 2.9 下降到 1.75;植物群落地上生物量由 33.00 g/m²下降到 19.61 g/m²(表 2)。

2.2 不同退化程度高寒草原的土壤理化性质变化

各土壤化学指标随草地退化程度的加剧变化规律不一致。土壤有机质、全氮、全磷以及 pH 表现出随退化程度加剧呈显著降低的趋势($P<0.05$),但样地 4 的有机质和全氮有所增加;全钾随退化程度加剧未表现一致的变化规律。

土壤容重随退化程度加剧而呈显著增加($P<0.05$);土壤通气孔隙度随退化程度加剧而显著降低的趋势($P<0.05$);而土壤含水量均随退化程度加剧呈先降低后增加再降低的趋势(表 3)。

表 2 不同退化程度高寒草原的群落特征

Table 2 The comparison of community characteristics in the plots under different degree of degradation

样地号	科	属	种	丰富度	群落重要值	地上生物量/(g·m ⁻²)	均匀度指数	多样性指数	优势种
1	6	15	17	16.40±0.24 ^b	2.31±0.01 ^b	33.00±1.86 ^{ab}	0.82±0.01 ^c	2.29±0.02 ^c	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i> 矮蒿草 <i>Kobresia humilis</i>
2	7	12	15	12.80±0.58 ^c	2.60±0.02 ^a	40.10±3.38 ^a	0.86±0.01 ^{ab}	2.18±0.01 ^d	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i> 早熟禾 <i>Poa crymophila</i>
3	12	20	23	21.00±0.55 ^a	2.17±0.02 ^c	29.44±3.90 ^{bc}	0.84±0.00 ^{bc}	2.55±0.02 ^b	二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> 紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>
4	12	16	22	21.20±0.37 ^a	2.31±0.02 ^b	22.58±3.03 ^{cd}	0.88±0.00 ^a	2.69±0.01 ^a	西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i> 柔软紫菀 <i>Aster flaccidus</i>
5	8	8	9	8.20±0.20 ^d	1.09±0.01 ^d	19.61±2.73 ^d	0.83±0.01 ^c	1.75±0.01 ^e	沙生凤毛菊 <i>Saussurea arenaria</i>

表 3 不同退化程度高寒草原的土壤性质

Table 3 The comparison of soil properties in the plots under different degree of degradation

样地号	土壤化学性状					土壤物理性状		
	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)	pH	含水量/%	容重/(g·cm ⁻³)	通气孔隙度/%
1	31.33±3.54 ^a	1.57±0.07 ^a	0.67±0.02 ^a	8.96±0.09 ^{ab}	7.85±0.10 ^a	12.16±0.95 ^b	1.10±0.09 ^c	58.32±3.48 ^a
2	22.12±0.85 ^b	0.97±0.02 ^b	0.65±0.01 ^{ab}	8.57±0.14 ^b	7.83±0.05 ^a	9.02±0.97 ^c	1.35±0.05 ^b	48.93±2.01 ^b
3	13.69±0.84 ^c	0.71±0.05 ^c	0.58±0.06 ^{ab}	7.50±0.55 ^c	7.84±0.14 ^a	7.59±0.48 ^c	1.46±0.04 ^{ab}	44.99±1.62 ^{bc}
4	18.41±3.79 ^{bc}	1.01±0.12 ^b	0.62±0.02 ^{ab}	9.83±0.26 ^a	7.24±0.10 ^b	14.97±0.85 ^a	1.49±0.09 ^{ab}	43.61±3.77 ^{bc}
5	12.53±1.11 ^c	0.38±0.04 ^d	0.56±0.02 ^b	9.07±0.17 ^{ab}	7.17±0.06 ^b	9.65±0.09 ^c	1.65±0.04 ^a	37.63±1.51 ^c

2.3 不同退化梯度高寒草原的植物群落特征,物种与土壤因子的关系

植物群落总盖度与土壤通气孔隙度、土壤全氮、土壤有机质呈显著正相关(R 值:0.86、0.73、0.72);地上生物量与土壤通气孔隙度、土壤有机质、土壤全氮呈显著正相关(R 值:0.69、0.6、0.55);植被总盖度、地上生物量与土壤容重呈显著负相关(R 值:−0.84、−0.67)(图 1)。

经 Monte Carlo 随机置换检验(表 4),8 个环境解释变量都对物种重要值的方差解释量达到极显著水平

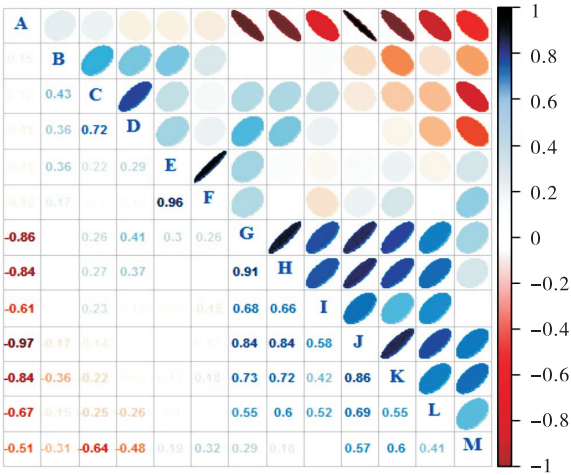


图 1 植物群落特征与土壤因子的相关性

Fig.1 The relationship between plant community characteristics and soil factors

注:B. 均匀度指数;E. 多样性指数;F. 丰富度指数;K. 总盖度;L. 地上生物量;A. 土壤容重;C. 土壤全钾;D. 土壤含水量;G. 土壤全氮土;H. 土壤有机质;I. 土壤全磷;J. 土壤通气孔隙度;M. 土壤 pH.

表 4 环境因子对物种组成的总效应和净效应

Table 4 Gross and net effects of environmental variables on species composition

环境因子	总效应	<i>F</i>	净效应	<i>F</i>
土壤含水量	0.229	6.837**	0.032	3.292*
土壤容重	0.378	13.985**	0.003	0.329
土壤通气孔隙度	0.375	13.825**	0.005	0.555
土壤有机质	0.335	11.597**	0.026	2.696
土壤全氮	0.306	10.150**	0.030	3.136*
土壤全磷	0.210	6.100**	0.060	6.191*
土壤全钾	0.159	4.343**	0.009	0.891
土壤 pH	0.237	7.129**	0.041	4.251*

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, **表示在 0.01水平(双侧)上显著相关

($P<0.01$)。其中,土壤容重和通气孔隙度对物种重要值的方差解释量最大;除去协同变量影响,土壤全磷、土壤 pH 和土壤全氮对物种重要值方差解释量达到显著水平($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 植物群落组成与草地退化的关系

草地在退化过程中,植物群落结构和功能退化最为直观和敏感^[12]。植物群落特征变化是反映草地退化程度的一种重要指征,也是退化导致的草地生态系统功能改变的主要测度^[13]。研究发现,随着草地退化程度加剧,群落结构由复杂逐渐趋于简单,群落优势种种类逐渐趋向单一,且随着草地退化加剧可食优良牧草的种类和生物量逐渐在减少和降低。到了极度退化阶段,可食优良牧草已经很难找到,未退化草地中的优势植物种,如针茅属植物完全消失,出现了沙生植物为优势种(表 2),导致草地质量下降显著。已有研究报告过度放牧与高寒草原的退化密切相关^[14-16]。由于牧草在营养价值和适口性等方面的差异,导致家畜具有择食性,可显著改变植物种间竞争格局,引起物种侵入或迁出以及群落组成变化^[17]。因此,放牧采食干扰可导致植物群落物种向单一化和低矮化方向发展^[18]。试验区原生优势植物是旱生或中旱生禾本科植物。由于属于新建国家公园,开展调查前刚实施禁牧,但是大量的野生动物,特别是数量众多的藏野驴(*Equus kiang*)游走选择性采食。从不同样地植物的群落高度就可以看出(表 1),野生动物的采食对植物群落的影响非常明显。

已有研究表明在环境好的群落,物种间相互作用使物种性状表现更为分散,而在环境恶劣的群落由于环境的筛选作用使物种性状表现趋同适应^[19]。在高寒草原生态系统中,环境的严酷性决定了该生态系统的脆弱性和不稳定性,使其植被成为退化地区最活跃、最重要的生态单元^[4]。植物群落物种丰富度、均匀度指数和多样性指数在高寒草原中、重度退化阶段最高,这与不同物种在退化演替过程中的消长变化密切相关^[20]。草地退化过程中莎草科与禾本科植物在群落中处于竞争劣势,而杂类草的大量入侵,蔓延滋生,导致中度退化阶段物种数最高(表 2)。此外,研究区属于高原寒旱气候,冬春季大风天气较多,夏季短时间强降雨也较多,风蚀、水蚀交替作用造成土壤流失和地表

组成物质粗化等,都会影响群落类型和特征^[21]。在极度退化草地,低植被覆盖度和高强度太阳辐射导致土壤水分减少,加之动物采食的影响,最终演替为以沙生凤毛菊为优势种的群落。

地上生物量是草地结构和功能的综合体现^[22]。草地群落生物量主要受气候变化特别是水分的影响^[23-26]。高寒草原未退化草地土壤水分条件相对较好,适合植被生长,致使未退化草地植被生物量较高。随着退化程度的加剧,水分条件变差,植物生物量相应减小。试验中轻度退化草地植被生物量比未退化草地高21.5%,原因与不同物种在退化演替过程中的消长变化密切相关^[20]。轻度退化草地中莎草与禾草在群落中并未完全消退,但是杂类草已经开始入侵滋生,杂类草生物量对轻度退化样地总生物量贡献较大,导致轻度退化阶段生物量最高。随着退化加剧,植物群落物种数、盖度和高度都显著减少,导致生物量也呈降低趋势。

3.2 草地土壤属性与高寒草原退化的关系

高寒草地土壤的退化首先改变了土壤的紧实度,其次土壤水分等其他物理性质也随之变化^[27]。作为土壤紧实度的敏感指标,土壤容重则是表征土壤质量的一个重要参数^[28]。试验表明土壤容重随着草地退化加剧而增大,这与高寒草原过度放牧有关,加之高寒草原土壤颗粒结合松散,在草地退化过程中因风蚀作用使土壤中的细颗粒被吹散,导致土壤容重增大^[29]。试验发现随着草地退化程度的加剧,土壤含水量降低。土壤容重的增加使土壤团粒结构丧失、土壤孔隙减小,渗透阻力增大^[30-31],导致土壤含水量降低。土壤水分直接影响草地生产力的高低,且含水量较低的土壤容易遭到侵蚀。因此,草地退化在引起土壤结构遭到破坏的同时使土壤含水量降低,最终导致草地生产力降低。

研究发现,土壤化学性状中有机质、全氮、全磷以及pH表现出随退化程度加剧呈显著降低的趋势($P < 0.05$)。由于退化造成土壤机械组成发生变化,风蚀、水蚀作用下土壤中富含营养物质的土壤黏粉粒含量降低^[32]。而重度退化样地的有机质和全氮有所增加,是源于黄河源区在禁牧以前此地区过度放牧,大量家畜的采食、践踏导致植被退化,但其粪尿回归和植物的残落物对土壤养分提高具有短期的显著影响^[33]。而这种短期的土壤养分提高使得一些养分利用效率高的物种逐渐占据优势,快速生长,占据了其他物种所需的养分和环境条件,从而造成一些物种数量减少甚至消失,

最终导致该群落物种多样性降低^[34]。

3.3 高寒草原草地退化过程中植物群落组成特征与土壤属性的关系

草地植物群落组成的变化除去放牧干扰这个初始动力之外,土壤因子与其动态变化密切相关^[17]。在不同退化阶段,草地群落构建过程中因环境因子限制导致物种生态位分化使群落中一些物种共存而另一些物种丧失^[35]。首先群落物种多样性的形成是由于物种生物学和生态学特性的差异,导致不同物种获取资源的能力不同,通过生境资源利用的分化与互补,使多物种在同一生境下的共存成为可能;其次群落生境具有小尺度的差异,即具有生境异质性,为多物种的共存提供了条件^[36]。群落构建过程是区域物种库的物种经过环境过滤和生物相互作用选入局域群落的筛选过程^[37]。在此过程中,环境因子首先决定哪些物种或者包含哪些性状的物种可以聚集在局域群落中^[38]。对植物群落特征与土壤因子进行相关性分析,表明植被总盖度、地上生物量与土壤通气孔隙度、土壤有机质、土壤全氮呈显著正相关;植被总盖度、地上生物量与土壤容重呈显著负相关。分析结果表明环境解释变量都对物种重要值方差解释量达到极显著水平($P < 0.05$),其中,土壤容重和通气孔隙度对物种重要值的方差解释量最大。表明草地退化过程中土壤物理属性是影响高寒草原植物群落结构变异的先导因素,高寒草原通过群落的重新组合来适应土壤物理属性变异对群落所带来的影响,形成土壤物理属性梯度下的群落适应性变化。除去协同变量影响,环境解释变量中土壤全磷、全氮以及土壤pH对物种重要值方差解释量达到显著水平($P < 0.05$)。已有研究发现磷是限制草地植物生长的因子^[39],表明除去综合因素对草地植物差异分布的影响,退化过程中草地土壤肥力对高寒草原植物差异分布贡献解释也不容忽视。

4 结论

黄河源区高寒草原退化对植物群落特征和土壤理化性质均有一定影响。随着草地退化程度的加剧,植物群落重要值、丰富度、多样性、均匀度以及地上生物量呈先增加后降低的趋势,群落结构由复杂逐渐趋于简单。草地退化造成土壤容重增加,土壤养分含量随着草地退化程度的增加而减小。因此,植被退化引起黄河源区高寒草原土壤退化,而土壤退化也必然引起植被退化,二

者互为因果,最终导致草地生产力显著下降。

参考文献:

- [1] 李晓兵,陈云浩,张云霞,等. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. 地球科学进展,2002,17(2):254—261.
- [2] 王宏,李晓兵,李霞,等. 中国北方草原对气候干旱的响应[J]. 生态学报,2006,28(1):172—182.
- [3] 周华坤,赵新全,温军,等. 黄河源区高寒草原的植被退化与土壤退化特征[J]. 草业学报,2012,21(5):1—11.
- [4] 秦彧,宜树华,李乃杰,等. 青藏高原草地生态系统碳循环研究进展[J]. 草业学报,2012,21(6):1—11.
- [5] Pansonato M P, Flávia R C Costa, Castilho C V D, *et al.* Spatial Scale or Amplitude of Predictors as Determinants of the Relative Importance of Environmental Factors to Plant Community Structure[J]. Biotropica, 2013, 45(3): 299—307.
- [6] 刘晔,许玥,石松林,等. 金沙江干旱河谷植物群落的数量分类及其结构分异的环境解释[J]. 生物多样性,2016,24(4):407—420.
- [7] 李凯辉,胡玉昆,王鑫,等. 不同海拔梯度高寒草地地上生物量与环境因子关系[J]. 应用生态学报,2007,18(9): 2019—2024.
- [8] 王巧玲,花立民,王贵珍,等. 春季延迟放牧对高寒草甸草地群落特征及生产力的影响[J]. 草地学报,2015,23(5): 1068—1072.
- [9] 杨思维,张德罡,牛钰杰,等. 高寒草甸表层土壤物理性状对短期放牧的响应[J]. 草原与草坪,2017,37(6):1—8.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社,1978.
- [11] Lososová Z, Chytrý M, Cimalová S, *et al.* Weed vegetation of arable land in central Europe: Gradients of diversity and species composition[J]. Journal of Vegetation Science, 2004, 15(3): 415—422.
- [12] 邵立业,董光荣,陆福根. 共和盆地草原沙漠化的正、逆过程与植被演替规律[J]. 中国沙漠,1988,8(1):30—40.
- [13] 李学斌,马琳,杨新国,等. 荒漠草原典型植物群落枯落物生态水文功能[J]. 生态环境学报,2011,20(5):834—838.
- [14] 魏兴琥,杨萍,李森,等. 超载放牧与那曲地区高山嵩草草甸植被退化及其退化指标的探讨[J]. 草业学报, 2005,14(3):41—49.
- [15] 孙鸿烈,郑度,姚檀栋,等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J]. 地理学报,2012,74(1):3—12.
- [16] 干珠扎布,郭亚奇,高清竹,等. 藏北紫花针茅高寒草原适宜放牧率研究[J]. 草业学报,2013,22(1):130—137.
- [17] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等. 放牧作用下高寒草甸群落物种分布与土壤因子的关系[J]. 应用生态学报,2017, 28(12):3891—3898.
- [18] 周悦,刘博,龙春林. 中国植物种质资源在草原生态系统修复中的作用[J]. 中国草地学报,2016,38(1):111—115.
- [19] Šimová, Irena, Violle C, Kraft N J B, *et al.* Shifts in trait means and variances in North American tree assemblages: species richness patterns are loosely related to the functional space[J]. Ecography, 2015, 38(7): 649—658.
- [20] 刘晓光. 阴山北麓草原植被不同退化程度特征分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2015(6):65—69.
- [21] 唐庄生,安慧,邓蕾,等. 荒漠草原沙漠化植物群落及土壤物理变化[J]. 生态学报,2016,36(4):991—1000.
- [22] 王玉辉,周广胜. 内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响应[J]. 生态学报,2004,24(6):1140—1145.
- [23] 方精云,杨元合,马文红,等. 中国草地生态系统碳库及其变化[J]. 中国科学(生命科学),2010,40(7):566—576.
- [24] Fang J, Piao S, Zhou L, *et al.* Precipitation patterns alter growth of temperate vegetation [J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32(21): 365—370.
- [25] Yang Y, Fang J, Ma W, *et al.* Relationship between variability in aboveground net primary production and precipitation in global grasslands[J]. Geophysical Research Letters, 2008, 35(23): 46—63.
- [26] Fang J, Piao S, Tang Z, *et al.* Interannual Variability in Net Primary Production and Precipitation[J]. Science, 2001, 293(5536): 1723.
- [27] Kainer K A, Duryea M L, Costa de Macêdo N, *et al.* Brazil nut seedling establishment and autecology in extractive reserves of Acre, Brazil. [J]. Ecological Applications, 1998, 8(2): 397—410.
- [28] V Acosta-Martínez, Reicher Z, Bischoff M, *et al.* The role of tree leaf mulch and nitrogen fertilizer on turfgrass soil quality[J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 29(1): 55—61.
- [29] Dong Z B. Wind erosion in arid and semiarid China: an overview [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 55(2): 134—139.
- [30] 马履一,翟明普,王勇. 京西山地棕壤和淋溶褐土饱和导水率的分析[J]. 林业科学,1999(3):111—114.
- [31] Arianoutsou-Faraggitaki M. Desertification by overgrazing in Greece: the case of Lesbos island[J]. Journal of Arid Environments, 1985, 9(3): 237—242.
- [32] 柴雯. 高寒草甸覆盖变化下土壤水分动态变化研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.

- [33] 龙瑞军,董世魁,胡自治.西部草地退化的原因分析与生态恢复措施探讨[J].草原与草坪,2005(6):3—7.
- [34] None. Variations in Species and Functional Plant Diversity along Climatic and Grazing Gradients[J]. Ecography, 2006,29(6):801—810.
- [35] Tanentzap A J,Burrows L E, Lee W G,*et al.* Landscape-level vegetation recovery from herbivory: progress after four decades of invasive red deer control[J]. Journal of Applied Ecology, 2009,46(5),1064—1072.
- [36] 叶万辉.物种多样性与植物群落的维持机制[J].生物多样性,2000(1):17—24.
- [37] Connor E F,Simberloff D. The Assembly of Species Communities:Chance or Competition[J]. Ecology, 1979,60(6):1132—1140.
- [38] Kraft N J B,Ackerly D D. Assembly of Plant Communities[M]//Ecology and the Environment,2014.
- [39] Fridley J D. Resource availability dominates and alters the relationship between species diversity and ecosystem productivity in experimental plant communities [J]. Oecologia (Berlin),2002,132(2):271—277.

Effects of alpine steppe degradation on plant communities and soil physical and chemical properties

WANG Ting, HUA Rui, CHU Bin, ZHOU Rui, YE Guo-hui, NIU Yu-jie,
TANG Zhuang-sheng, HUA Li-min

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. , Lanzhou 730070, China)

Abstract: The alpine steppe is an important part of the grassland ecosystem in the Qinghai-Tibet Plateau. It is important to understand the effects of alpine grassland degradation on plant community and soil physical and chemical properties. In this study, spatial distribution was used instead of time succession to investigate the changes of plant community characteristics and soil physical and chemical properties during the degradation of alpine steppe in Maduo County, Yellow River source area, and to explore the response of plant community and soil physical and chemical properties to degradation. The results showed: (1) The dominant species of plants under different degradation gradients changed significantly, from mild to severely degraded. The dominant species of grassland changed from the genus *Stipabreviflora* and *Kobresia* to the heterotic grass, and the dominant species became sandy plants under extreme degradation. (2) With the increase of grassland degradation, the importance value, richness, diversity, evenness and aboveground biomass of plant species increased first and then decreased, but the aboveground biomass of slightly degraded grassland was 21.5% higher than that of non-degraded grassland. The reason may be closely related to the change of growth and decline of different species in the process of degraded succession. (3) Soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and pH showed a significant decrease ($P < 0.05$) with the degree of degradation; soil bulk density increased significantly with the degree of degradation; soil aeration porosity decreased significantly with the degree of degradation. Through redundant analysis, grassland degradation first affects the physical properties of the soil and then affects the species composition of the grassland community, resulting in a significant decrease in grassland productivity.

Key words: alpine steppe; degradation gradient; community characteristics; soil factor