

东祁连山不同退化草地植物群落特征与土壤养分特性

张建贵¹, 王理德², 姚拓¹, 李海云¹, 高亚敏¹, 胡彦婷³, 兰晓君¹, 周彤¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 兰州 730070;

2. 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070)

摘要: 为探究东祁连山不同退化草地植物群落特征、土壤养分特性及其相关性, 以轻度退化草地、中度退化草地和重度退化草地为研究对象, 采用野外调查、室内测定和数据分析相结合的方法, 分析了不同退化草地植被特征、土壤养分特性及其之间的相关性。结果表明: (1) 从轻度退化草地—中度退化草地—重度退化草地, 植物群落特征(地上生物量、高度、密度、频度和总盖度)整体呈现降低趋势, 且差异显著($P < 0.05$), 中度退化草地 Margalef 指数、Shannon 指数和 Evenness 指数最高, Dominance 指数最低; (2) 研究区植物共有 19 科 38 属 41 种, 生态适应性较强的植物主要集中在豆科、禾本科、菊科和蔷薇科, 不同退化草地植被型分别为矮生嵩草(*K. humilis*) + 赖草(*Leymus secalinus*)、矮生嵩草 + 高山唐松草(*Thalictrum alpinum*)、矮生嵩草 + 赖草, 其中矮生嵩草是各退化草地的优势种, 不同退化草地的功能群以杂类草占优势, 其次是禾草类, 毒草类所占的比例最少; (3) 随草地退化程度加重, 土壤速效氮、有效磷、有机碳和含水量呈降低的趋势, 而 pH 整体呈现升高的趋势; (4) 不同退化草地土壤因子对植被生长贡献率最高分别为速效氮、有效磷和含水量。综上, 随着草地退化程度加重, 植物群落结构向单一趋势过渡, 土壤养分含量减少, 且土壤因子对植物贡献率也相应发生变化。

关键词: 东祁连山; 草地退化; 群落特征; 土壤养分

中图分类号: S812; S812.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0227-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.01.036

Characteristics of Plant Community and Soil Nutrient of Different Degraded Grasslands in East Qilian Mountains

ZHANG Jianguai¹, WANG Lide², YAO Tuo¹, LI Haiyun¹,
GAO Yamin¹, HU Yanting³, LAN Xiaojun¹, ZHOU Tong¹

(1. Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education, College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 2. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070; 3. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract: In order to study the community features, soil nutrient characteristics and their correlations in different degraded grasslands of East Qilian Mountains, the lightly degraded grassland (LDG), moderately degraded grassland (MDG) and heavily degraded grassland (SDG) were taken as the research objects, and the combination of field investigation, laboratory measurement and data statistical analysis was adopted. The results showed that: (1) The characteristics of plant communities, including aboveground biomass, height, density, frequency and vegetation coverage, showed a decreasing trend from LDG to SDG, and the difference was significant ($P < 0.05$). And the species Margalef index, Shannon index and Evenness index of the MDG were the maximum, however, the Dominance index was the minimum. (2) There were 19 families, 38 genera and 41 species in the study area, and the plants with strong ecological adaptability mainly concentrated in Legumes, Gramineae, Compositae and Rosaceae. The vegetation types of different degraded grasslands included *K. humilis* with *Leymus secalinus*, *K. humilis* with *Thalictrum alpinum*, *K. humilis* with *L. secalinus*, among which *K. humilis* was the dominant species in different degraded grasslands. In different

收稿日期: 2018-07-10

资助项目: 国家自然科学基金项目(31660688); 中央引导地方科技发展专项(ydzz20176200004893)

第一作者: 张建贵(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事草地生物多样性研究。E-mail: zhangjgyx@yeah.net

通信作者: 姚拓(1968-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事草地生物多样性和草地保护研究。E-mail: yaotuo@gsau.edu.cn

degraded grasslands, the functional groups were dominated by forbs, followed by Gramineae grasses and poison grasses. (3) With the aggravation of grassland degradation, soil available nitrogen, available phosphorus, organic carbon and water content all decreased, while pH increased. (4) The highest contribution rate of soil factors to vegetation growth in different degraded grasslands was the available nitrogen, available phosphorus and water content, respectively. In summary, with the aggravation of grassland degradation, the community structure of plants was changing to a single trend, soil nutrient content was reduced and the contribution rate of soil factors to plants was also changed accordingly.

Keywords: East Qilian Mountains; grassland degradation; community characteristics; soil nutrient

草地是陆地生态系统的主要组成部分,对陆地生态系统的稳定与平衡、草牧业可持续发展具有重要意义。草地植被对气候、土壤养分、温度和水分等外界因子具有很强的敏感性和直观性,受环境因子变化的差异性导致群落构成发生改变,故草地植被可作为草地健康评估体系的重要指标之一^[1]。然而,草地退化的核心问题是土壤退化,土壤作为动物、植物和微生物生活的栖息场所,其成分在空间和时间异质性上决定了生物分布格局,土壤微生物是土壤中具有生命力特征的主要组成部分,在土壤形成和演化过程中起着主导作用。研究如何调控、改良土壤使草地植被恢复生长,可为草地可持续发展指明方向。目前草地群落结构主要通过围栏补播、休牧禁牧、划区轮牧等方式调控土壤养分、土壤微生物群落结构和土壤酶活性^[1-2]。

祁连山位于蒙新、青藏和黄土三大高原交汇地带,受青藏高原和蒙新荒漠气候的双重影响,形成了结构简单、功能单一且具有“高、寒、旱”特点的草地生态系统^[3]。我国现阶段正处于由畜牧业向草牧业转变的关键阶段,草地生态平衡和生态系统高效良性循环显得极为重要,然而,近年来草地的粗放经营、鼠虫害频发和盐碱化加重等问题的出现,导致草地退化现象尤为突出^[4-5]。因此,探索不同退化草地植被群落结构特征、物种多样性变化显得极为重要。

东祁连山是西北地区重要的生态区,犹如从西北干旱区伸进一座湿岛,也是石羊河、黑河和疏勒河的发源地和径流形成区。东祁连山高寒草地对河西走廊的生态、文化和经济等发展起到了极其重要的作用,其植物群落的变化将会影响河西走廊的生态布局。目前有关学者^[6]仅对东祁连山皇城草原狼毒

(*Stellera chamaejasme*)群落多样性做了初步研究,但该地不同退化草地的植物群落结构、土壤养分的是如何变化的,两者间的关系又是如何,不很清楚。鉴于此,本研究对皇城草原不同退化草地植被进行调查,分析其群落组成、物种多样性及土壤养分变化,以期实现水—土—草—畜等要素协调发展,资源高效利用,功能持续稳定提升和草地良性循环,并为其生物多样性保护和资源可持续利用提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择甘肃境内肃南裕固族自治县皇城草原(37°53′49″—37°54′47″ N, 101°32′02″—101°48′58″ E)为研究区。该区地处祁连山东段北坡,其南部为冷龙岭山地,北部为盖掌达板山地,海拔 2 500~5 254 m,湿润山地草原气候,无霜期 70~120 d,年平均气温 1~2 ℃,年降水量 320~400 mm,年日照时间 2 211 h。全年气候多变,四季不分明,冬季长而干旱寒冷,夏秋季短而凉爽,天然牧草 4 月底萌发,10 月底枯黄,枯草期长达 7 个月以上。土壤为栗钙土,植被类型为高寒草原,植被以针茅属、赖草属禾草为优势种,主要植物有西北针茅(*Stipa krylovii*)、赖草(*Aneurolepidium dasystachys*)、冰草(*Agropyron cristatum*)等。

1.2 样地设置

1.2.1 样地设置 基于前人^[7]在祁连山地段的调查,依据《天然草地退化、沙化、盐渍化的分级标准》(GB 19377—2003)^[8],选取祁连山皇城草原有代表性的牧民围栏草地和公共放牧草地进行了调查,在研究区内选取 3 种不同退化草地:轻度退化草地(LDG)、中度退化草地(MDG)和重度退化草地(SDG)^[8](表 1)。

表 1 样地设置

退化程度	海拔/m	地理坐标	特点
轻度退化(LDG)	2560	101°48′58″ E, 37°54′44″ N	植被生长良好,有围栏保护,无放牧等干扰
中度退化(MDG)	3100	101°32′02″ E, 37°53′49″ N	植被生长较弱,有围栏保护,放牧强度适中
重度退化(SDG)	2563	101°48′45″ E, 37°54′47″ N	植被低矮小,家畜啃食、践踏严重,有裸地

1.2.2 植被调查与土样采集 于 2017 年 8 月开展野外调查,每个样地设置 3 个大样方(25 m×25 m),在每个大样方内设置 3 个小样方(50 cm×50 cm)。

根据任继周^[7]的方法进行野外调查与室内计算,野外调查需记录样方内出现的植物种类、物种数、个体数、群落总盖度、频度、高度。同时利用 GPS 记录样地所

在位置的海拔、经纬度。用土钻在各小样方内分别采集 0—20, 20—40 cm 土层的土壤样品。将采集土壤样品装入已标记的自封袋带回实验室。一份土样采用烘干法测定土壤含水量,另一份风干土过筛后供土壤养分含量测定。

1.3 测定方法

1.3.1 植被测定 群落物种丰富度指数、多样性指数、均匀度指数、优势度指数和重要值^[9-12]的计算公式为:

$$R = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

$$H = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right) \left[\ln \frac{N_i}{N} \right]$$

$$E = \frac{\left[1 - \sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right)^2 \right]}{\left(1 - \frac{1}{S} \right)}$$

$$D_0 = \sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right)^2$$

$$IV = \frac{(C' + E' + H' + R')}{4}$$

式中: R 为丰富度指数; H 为多样性指数; E 为均匀度指数; D_0 为优势度指数; IV 为重要值; S 为每个样方总的物种数(个); N 为 S 个全部物种的重要值之和; N_i 为第 i 物种的重要值; C' 为相对盖度; E' 为相对密度; H' 为相对高度; R' 为相对频度。

1.3.2 土壤理化性质测定 土壤理化指标测定均采用常规分析方法^[13]。土壤 pH 测定采用酸度计电位法; 土壤含水量测定采用烘干称重法; 土壤有机碳含

量测定采用重铬酸钾容量法—外加热法; 土壤速效氮含量测定采用碱解扩散法; 土壤有效磷含量测定采用 NaHCO_3 浸提—钼锑抗比色法。

1.4 数据分析

采用 PAST 进行群落多样性统计分析、SPSS 19.0 软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验, 采用 CANOCO 4.5 软件进行除趋势对应分析(DCA)和冗余分析(RDA), 并用向前筛选法(Foward selection)和蒙特卡洛置换检验(Monte permutation test)进行环境因子筛选和显著性检验^[10], 采用 Excel 2010 软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同退化草地植被特征

不同退化草地植被特征总体呈现降低趋势($P < 0.05$), 表现为轻度退化(LDG) > 中度退化(MDG) > 重度退化(SDG)(表 2)。轻度退化草地植被生物量高于中度和重度退化草地, 但差异不显著($P > 0.05$), 其生物量分别是中度、重度退化草地的 1.98, 2.26 倍; 轻度退化草地植物的高度显著高于其他退化草地($P < 0.05$), 其高度分别是中度退化、重度退化草地的 3.31, 4.17 倍; 轻度退化草地植物的密度显著高于其他退化草地($P < 0.05$), 其密度分别是中度、重度退化草地的 3.31, 4.17 倍; 中度退化草地植物的频度显著高于其他退化草地($P < 0.05$), 其频度分别是轻度、重度退化草地的 1.30, 1.34 倍; 轻度退化草地植被的总盖度显著高于其他退化草地($P < 0.05$), 其总盖度分别是中度、重度退化草地的 1.17, 2.08 倍。

表 2 高寒草地不同退化草地植被特征

退化程度	地上生物量/(g · m ⁻²)	高度/cm	密度/(株 · m ⁻²)	频度/%	总盖度/%	物种数/个
轻度退化	492.09 ± 32.70ab	53.92 ± 1.40a	148.99 ± 0.70a	58.00 ± 0.56b	76.67 ± 0.01a	26
中度退化	247.96 ± 14.80b	16.27 ± 0.22b	87.89 ± 4.22b	75.67 ± 0.27a	60.33 ± 0.15b	24
重度退化	218.05 ± 45.31b	12.93 ± 0.19c	83.19 ± 11.89b	56.67 ± 0.03b	35.67 ± 0.01c	14

注: 表中数据为平均值 ± 标准误差; 不同小写字母表示同一指标不同退化草地差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.2 不同退化草地物种多样性变化

不同退化草地群落物种多样性分析(图 1), 中度退化草地指数值(除 Dominance 指数)均高于其他退化草地。如不同退化草地 Dominance 指数差异显著($P < 0.05$), 表现为 LDG(0.29) > SDG(0.16) > MDG(0.09), Evenness 指数差异显著($P < 0.05$), 表现为 MDG(0.67) > SDG(0.49) > LDG(0.34)。可见, 中度退化草地物种丰富, 结构稳定, 有利于退化草地恢复。

2.3 不同退化草地植物科、属和种组成及功能群比较

不同退化草地的物种数目变化表现为: 中度退化(26 种) > 轻度退化(24 种) > 重度退化(14 种), 不同属与种的数量变化趋势一致(表 3)。研究样地共有草本植物 19 科 38 属 41 种, 其中禾本科(8 属 8 种)、菊科(5 属 6

种)、豆科(5 属 5 种)和蔷薇科(1 属 3 种)植物适应低温湿冷及养分贫瘠能力强。轻度、中度和重度退化草地这 4 科物种数分别占总物种数的 62.50%, 65.38%, 28.57%。不同退化草地物种功能群总体呈现为: 杂类草(173.75%) > 禾草类(72.00%) > 毒草类(39.80%)(图 2), 轻度退化草地杂类草重要值分别是禾草类、毒草类的 2.84, 7.56 倍; 中度退化草地杂类草重要值分别是禾草类、毒草类的 1.80, 1.75 倍; 重度退化草地杂类草重要值分别是禾草类、毒草类的 2.58, 10.06 倍。因此, 随退化程度增加杂类草、禾草类、毒草类重要值均呈先降低再升高的趋势, 其中禾草类处于稳定趋势, 杂类草在不同退化草地均占重要地位。可见, 该区群落结构简单, 科属组成分散。

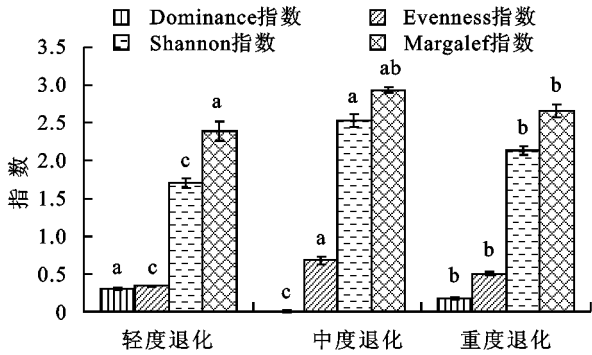


图 1 不同退化草地群落物种多样性比较

2.4 不同退化草地植被型及优势种、伴生种比较

从不同退化草地群落组成(表 4)来看,矮生嵩草、赖草、高山唐松草在各退化草地群落中占优势地位,对群落结构、生态系统功能及稳定性具有重要作用。轻度退化草地为矮生嵩草+赖草型植被,其中优势种、亚优势种和主要伴生种重要值依次为:矮生嵩草(18.07%)>赖草(10.62%)>草地老鹳草(*Gernium pratense*)(10.21%),优势种以矮生嵩草为主、

伴生种以草地老鹳草、蕨麻(*Potentilla anserina*)、委陵菜(*P. chinensis*),并有毒草黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)和披针叶野决明(*Thermopsis lanceolata*)。中度退化草地为矮生嵩草+高山唐松草型植被,其中优势种、亚优势种和主要伴生种重要值依次为:矮生嵩草(10.91%)>高山唐松草(9.14%)>珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)(8.83%),优势种以草地早熟禾(*Poa annua*)为主,伴生种有珠芽蓼、委陵菜为主,并伴有毒草黄花棘豆、条纹龙胆(*Gentiana striata*)。重度退化草地为矮生嵩草+赖草型植被,其中优势种、亚优势种和主要伴生种重要值依次为:矮生嵩草(37.29%)>赖草(16.18%)>猪毛菜(*Salsola collina*)(8.05%),并伴有羊茅(*Festuca ovina*)、刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)、葶苈(*Draba nemorosa*)、珠芽蓼、委陵菜和灰绿藜(*Chenopodium glaucum*),以及毒草毛茛(*Ranunculus japonicus*)和黄花棘豆出现。

表 3 不同退化草地群落主要植物科、属、种的组成

退化程度	总科数	总属数	总种数	常见科的种数分布					占本群落比率/%
				豆科	禾本科	菊科	蔷薇科	合计	
轻度退化	12	23	24	3	5	5	2	15	62.50
中度退化	11	24	26	4	7	4	2	17	65.38
重度退化	11	14	14	1	2	0	1	4	28.57

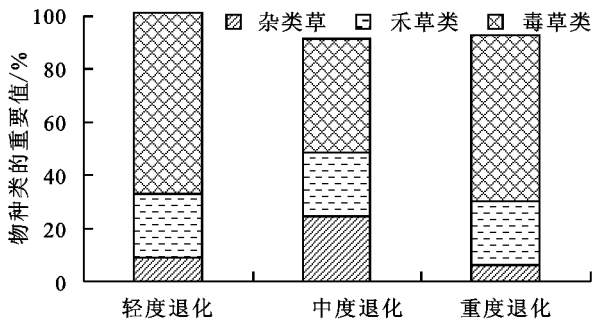


图 2 不同退化草地功能群比较

2.5 不同退化草地土壤因子变化特征

在不同退化草地中,随土层加深,土壤 pH、含水量、速效氮、有效磷和有机碳均呈降低的趋势,随退化程度加重土壤 pH 呈现先升高后降低趋势,土壤含水量、速效氮、有效磷和有机碳呈现降低的趋势,且各处理间差异显著($P < 0.05$)(表 5)。如在 0—20 cm 土层,轻度退化土壤含水量最高且显著高于中度、重度退化草地($P < 0.05$),是中度、重度退化草地的 1.13, 1.97 倍;轻度退化土壤有机碳最高且显著高于中度、重度退化草地($P < 0.05$),是中度、重度退化草地的 2.83, 3.73 倍;在 20—40 cm 土层,轻度退化土壤速效氮含量最高且显著高于中度、重度退化草地($P < 0.05$),是中度、重度退化草地的 2.18, 2.95 倍;轻度退化土壤有效磷含量最高且显著高于中度、重度退化草地($P < 0.05$),是中度、重度退化草地的 1.20, 1.44

倍。总之,随着退化程度加重,各土壤因子均有不同程度的变化。

表 4 不同退化草地群落优势种、亚优势种及其主要伴生种重要值的变化

轻度退化		中度退化		重度退化	
优势种	重要值/%	优势种	重要值/%	优势种	重要值/%
矮生嵩草	18.07	矮生嵩草	10.91	矮生嵩草	37.29
赖草	10.62	高山唐松草	9.14	赖草	16.18
草地老鹳草	10.21	珠芽蓼	8.83	猪毛菜	8.05
蕨麻	8.30	黄花棘豆	7.74	羊茅	7.96
委陵菜	6.27	委陵菜	6.73	刺旋花	6.64
垂穗披碱草	4.74	草地早熟禾	6.29	葶苈	3.67
橐吾花锚	4.61	垂穗披碱草	5.84	球序韭	3.50
灰绿藜	4.35	米口袋	4.48	鳞花草	3.37
羊茅	4.01	条纹龙胆	4.42	毛茛	3.32
披针叶野决明	3.85	两耳草	3.94	委陵菜	3.05
飞廉	3.25	风毛菊	3.50	独行菜	3.02
小球花蒿	3.23	裂叶蒿	3.17	黄花棘豆	2.89
草地早熟禾	3.03	赖草	3.10	灰绿藜	0.53
车前	2.52	毛茛	2.91	骆驼刺	0.53
毛茛	2.52	甘肃棘豆	2.76		
裂叶蒿	2.38	金露梅	2.66		
蒲公英	1.82	野胡萝卜	2.42		
珠芽蓼	1.72	蒲公英	2.41		
两耳草	1.61	棒头草	2.19		
苦苣菜	1.54	星星草	2.16		
大戟	1.36	直立婆婆纳	2.11		
黄花棘豆	1.15	扁蓿豆	1.42		
扁蓿豆	0.43	车前	0.76		
高山唐松草	0.14	石竹	0.10		

注:优势度<0.1时以0计,不在表中列出。

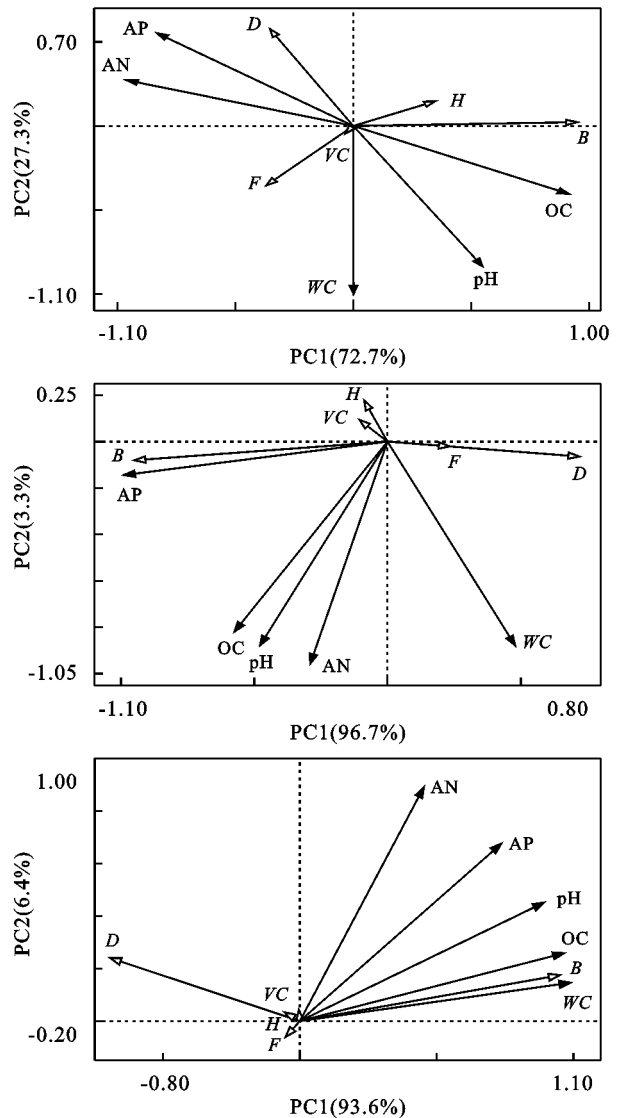
表 5 不同退化草地土壤特征

退化程度	土层深度/cm	pH	含水量/%	速效氮/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机碳/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
轻度退化	0—20	7.20±0.06c	33.68±1.32a	187.11±6.49a	37.05±2.89a	73.27±6.17a
中度退化	0—20	8.28±0.04a	29.93±0.43b	63.57±1.92c	26.01±1.62b	25.85±1.89c
重度退化	0—20	8.13±0.02b	17.10±0.40d	51.37±1.77d	11.22±0.52c	19.64±0.69d
轻度退化	20—40	6.88±0.09d	22.32±0.38c	144.94±8.67b	12.57±1.94c	42.62±2.57b
中度退化	20—40	8.03±0.14b	16.42±0.42d	48.24±2.34d	7.26±0.46d	17.17±1.56d
重度退化	20—40	8.08±0.08b	8.17±0.69e	33.72±0.58e	7.16±0.14d	11.13±0.52e

2.6 不同退化草地植被因子与土壤因子的关系

为直观地表达土壤环境与植被间的相互关系,本研究采用冗余分析(RDA)方法,将选取的土壤环境因子作为解释变量,植被因子作为响应变量,分析 2 组变量可得植被因子与土壤环境因子的二维排序图(图 3)。图 3 中植被因子用带有空心箭头的线表示,土壤环境因子用带有实心箭头的线表示;箭头连线的长度代表环境因子与植被因子间的相关程度,连线越长,代表因子间的关联性越强。环境因子箭头连线在植被因子箭头连线上的垂直投影越长(余弦值越大),其对相应植被因子的影响越大。箭头连线与排序轴的夹角代表该因子与排序轴相关性的大小,夹角越小,相关性越高。pH、OC、WC、AP、AN 在草地退化 3 个程度的箭头连线均较长,说明对植被因子变化特征具有较强的解释能力(图 3)。具体分析发现,草地退化 3 个程度因子箭头连线较为分散,说明各植被因子间关联程度大小不一,存在较大不确定性;轻度退化草地,有效磷、速效氮含量与植被因子密度箭头方向一致,其中有效磷与密度夹角最小,呈较强的正相关性($P < 0.05$)。中度退化草地,有效磷、速效氮、有机碳和 pH 因子对植被生物量因子呈正相关关系,含水量对植被密度、频度因子呈现正相关性($P < 0.05$)。重度退化草地,含水量、pH、速效氮、有效磷、有机碳对植被生物量因子呈正相关性,其中含水量与生物量夹角很小,呈较强正相关($P < 0.05$)。

RDA 排序图(图 3)仅反映土壤环境因子与植被生态因子间存在相关性,难以量化环境因子对植被生长分布的贡献程度。鉴于此,采用向前筛选法和蒙特卡洛检验对 5 个环境因子进行排序(表 6),结果表明,轻度退化草地,环境因子对植被生长分布的解释力度由大到小依次为速效氮、有机碳、有效磷、pH 和含水量;中度草地,环境因子对植被生长分布的解释力度由大到小依次为有效磷、有机碳、pH、含水量和速效氮;重度草地,环境因子解释力度由大到小依次为含水量、有机碳、pH、有效磷和速效氮。



注: H 为植被高度; VC 为植被盖度; D 为植被密度; F 为植被频度; B 为植被生物量; AN 为土壤速效氮含量; AP 为土壤有效磷含量; WC 为土壤含水量; OC 为土壤有机碳含量。下同。

图 3 植被因子与土壤环境因子的 RDA 分析

3 讨论

群落构成是群落结构的重要组成部分,其物种组成变化在一定程度上反映了群落外貌,是植物群落对所处生境各因素综合反映的外部表现^[14],物种多样性既能度量群落的结构特征,又能指示环境现状。重要值是群落

中物种所处地位和物种生态适应能力的综合指标,其大小是确定优势种和建群种的重要指标。

表 6 不同退化草地环境解释力度和显著性检验结果

退化阶段	环境因子	解释力度排序	环境因子所占解释量/%	F	P
轻度退化	AN	1	27.77	2.263	0.354
	OC	2	18.31	1.880	0.326
	AP	3	9.14	1.431	0.502
	pH	4	3.27	0.693	0.632
	WC	5	1.09	0.375	1.000
中度退化	AP	1	50.00	18.010	0.168
	OC	2	18.00	0.518	0.666
	pH	3	13.04	0.328	0.836
	WC	4	13.04	0.327	0.844
	AN	5	5.91	0.126	0.872
重度退化	WC	1	27.53	11.131	0.148
	OC	2	26.33	7.181	0.172
	pH	3	22.76	3.141	0.354
	AP	4	16.10	1.160	0.510
	AN	5	7.29	0.321	0.838

通过研究区调查发现,随草地退化程度加重,草地植被型分布为矮生蒿草+赖草、矮生蒿草+高山唐松草和矮生蒿草+赖草,且植被特征呈下降趋势,物种数呈现先升高后降低趋势,Margalef 指数、Evenness 指数和 Shannon 指数呈现先升高后降低趋势, Dominance 指数反之。这一结果与李里等^[5]在青海达日地区对退化草地植物功能群和物种丰富度与群落生产力关系的研究发现随退化程度增加物种丰富度、多样性指数、群落生产力呈下降趋势,功能群生物量呈现杂类草增加、豆科减少、禾本科“低—高一低”的结果一致,与陈乐乐等^[15]对高寒地区不同退化草地群落结构特征研究表明随退化加重,草地群落杂类草和毒草类作为次生优势种开始替代禾本科牧草结果一致。出现这一结果可能受光照、温度、降雨外界因子的干扰,物种间竞争造成物种数减少,群落物种构成表现为“多数种属于少数科、少数种属于多数科”,也有可能受家畜、鼠兔等动物活动干扰。因此深度挖掘该地区不同退化草地群落结构、物种多样性,对草地物种生存竞争、草地资源以及草地管理模式提供了重要参考依据。研究还表明,中度退化草地较其他草地物种均匀度较高,造成这种差异可能是受群落种类数目和种类之间个体分配的均匀性影响,适当的放牧强度和周期可以降低群落优势种排斥其他物种入侵和定居概率,从而提高群落水平上的多样性;重度退化草地群落的物种数明显低于其他退化草地,并伴随有黄花棘豆、醉马草(*Achnatherum inebrians*)等危害植物的出现。形成植物分布不均匀的原因可能

是植物种子靠风、虫、雨水等媒介进行传播繁殖,草地会形成片状布局,不利用植物种子资源繁殖扩散,长期会造成群落结构单一、不稳定。可见草地在退化过程中杂类草和毒杂草入侵会改变群落结构,随着杂类草和毒杂草的入侵,致使草地功能群发生更替,优势种逐步下降,杂类草和毒草类不断上升,且其资源比率和空间异质性高,严重抑制其余物种的激烈竞争^[16]。因此,中度退化草地物种丰富、群落稳定、均匀性高,可作为当地草地管理的主要模式,为退化草地生态恢复奠定了重要的理论基础。

环境与植被间的关系和环境变化对植被分布与格局的影响一直是生态学研究的重点。本研究从不同退化草地速效氮、有效磷、有机碳、pH 和含水量与植物“四度一量”的相关性发现,轻度退化草地有效磷与密度呈较强的正相关性($P < 0.05$),中度退化草地含水量对植被密度、频度因子呈现正相关性($P < 0.05$),重度退化草地含水量与生物量夹角很小,呈较强正相关性($P < 0.05$),且不同退化草地土壤环境因子对轻度、中度和重度退化草地贡献率最高的分别为速效氮、有效磷和水分,贡献率最低的分别为含水量、有效氮和有效磷。这一结果与罗亚勇等^[16]研究发现,随退化程度增加土壤养分(速效氮、有效磷、有机质)呈现下降趋势,且物种多样性与土壤养分呈显著正相关结果相一致,出现这一结果可能是因为退化草地地表覆盖枯落层较厚,降雨截留于地表且易随温度升高而蒸发,同时地表微生物分解纤维素和木质素释放氮、磷素^[17],其代谢物可提高土壤酶活性,促进氮、磷矿化率和微生物固持率,促进植物氮素吸收率;而重度退化草地地表枯落层较轻度退化较薄,地表覆盖度低,尽管土壤含水量对植物贡献率高,但地表条件对微生物生长繁殖受到抑制,故微生物对氮素的转化远远不够植物吸收利用。有研究^[18]表明,土壤有机质与土壤酶存在显著正相关,且植被在养分利用上存在偏好性,当营养供给水平降低时,物种间竞争排斥效应提高,不利于外来植被迁徙和定居,降低了物种丰富度。依照生态位互补效应,中度退化草地生物多样性增加有利于物种充分释放资源利用潜力,使资源利用效率达到最大化,从而导致植被生产力提高。此外,李建宏等^[19]对天祝草原不同退化植被特性的研究发现,随草地退化程度加重土壤好气性固氮菌、嫌气性固氮菌数量呈现下降趋势;蒋永梅等^[20]对不同退化草地土壤微生物与土壤酶活性研究发现,随退化程度加重土壤三大微生物数量、微生物量,氮素生理群以及土壤酶活性呈减小的趋势。可见

草地退化不仅与植物群落结构、物种多样性、“四度一量”等植被表征有关,还与土壤养分、土壤酶、土壤微生物等系列变化特征有关。因此,发掘当地退化草地群落结构与土壤养分间的关系,掌握退化草地养分变化规律,可有效遏制草地退化并改良退化草地促使草地向恢复方向发展。

综上所述,随草地退化程度加重,土壤养分均呈递减的趋势,而中度退化草地物种数最多,群落结构最稳定,草地生产力最强。说明该研究区各养分在不同退化草地贡献率不同,不同退化草地只有改变“木桶效应”限制因子才能充分发挥其生态价值。该研究仅从植物群落特征、土壤理化及两者之间的关系为退化草地提供了部分理论依据,在今后开展关于草地植被和土壤因子相关性研究时,需从微生物群落结构、土壤酶活性等角度对退化草地进行研究,以期在植被—土壤—微生物三者整体反映草地退化机理,为研究和恢复高寒草地生态系统问题提供科学依据。

4 结论

(1)研究区植物共19科38属41种,随着退化程度加重植物群落特征呈降低的趋势,其植被型分别为矮生嵩草+赖草、矮生嵩草+高山唐松草、矮生嵩草+赖草,草地功能群整体呈现杂类草植物占优势。

(2)随退化程度加重,土壤有机碳、有效磷、速效氮和含水量均呈下降的趋势,而土壤pH呈升高的趋势。

(3)随退化程度加重,环境因子对植被生长贡献率不同,不同退化草地贡献率最高分别为速效氮、有效磷和含水量,贡献率最低为含水量、有效氮和有效磷。

参考文献:

[1] Wu G L, Du G Z, Liu Z H, et al. Effect of fencing and grazing on a Kobresia-dominated meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Plant and Soil*, 2009, 319(1/2): 115-126.

[2] Qi S, Zheng H X, Lin Q M, et al. Effects of livestock grazing intensity on soil biota in a semiarid steppe of Inner Mongolia [J]. *Plant and Soil*, 2011, 340(1/2): 117-126.

[3] 车宗玺,李进军,汪有奎,等. 祁连山西段草地土壤温度、水分变化特征[J]. *生态学报*, 2018, 38(1): 105-111.

[4] 初晓辉,谢勇,单贵莲,等. 放牧和封育对青藏高原南缘亚高山草甸群落结构及物种多样性的影响[J]. *草地学报*, 2017, 25(5): 939-945.

[5] 李里,刘伟. 退化草地植物功能群和物种丰富度与群落生产力关系的研究[J]. *草地学报*, 2011, 19(6): 917-921, 999.

[6] 姚强. 高寒退化草地狼毒群落物种多样性与种间关系研究[D]. 兰州:西北师范大学, 2011.

[7] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1998: 11-16.

[8] 苏大学,张自和,陈佐忠. GB 19733—2003 天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标[S]. 北京:中国标准出版社, 2003: 3-5.

[9] Yan R R, Xin X P, Yan Y C, et al. Impacts of differing grazing rates on canopy structure and species composition in Hulunber meadow steppe [J]. *Rangeland Ecology & Management*, 2015, 68(1): 54-64.

[10] Lepš J, Šmilauer P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO* [M]. UK: Cambridge University Press, 2003.

[11] 林丽,张德罡,曹广民,等. 高寒高草草甸植物群落数量特征对不同利用强度的短期响应[J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 8034-8043.

[12] 贡璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等. 塔里木盆地南缘旱生芦苇生态特征与水盐因子关系[J]. *生态学报*, 2014, 34(10): 2509-2518.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.

[14] 何芳兰,刘世增,李昌龙. 甘肃河西戈壁植物群落组成特征及其多样性研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(4): 74-78.

[15] 陈乐乐,施建军,王彦龙,等. 高寒地区不同退化程度草地群落结构特征研究[J]. *草地学报*, 2016, 24(1): 210-213.

[16] 罗亚勇,孟庆涛,张静辉,等. 青藏高原东缘高寒草甸退化过程中植物群落物种多样性、生产力与土壤特性的关系[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(5): 1298-1305.

[17] 王芳,宋明华,黄玫,等. 东北北部温带森林和干草地土壤养分分布及影响因素[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(8): 1280-1285.

[18] 易晨,李德成,张甘霖,等. 土壤厚度的划分标准与案例研究[J]. *土壤学报*, 2015, 52(1): 220-227.

[19] 李建宏,李雪萍,卢虎,等. 高寒地区不同退化草地植被特性和土壤固氮菌群特性及其相关性[J]. *生态学报*, 2017, 37(11): 3647-3654.

[20] 蒋永梅,师尚礼,田永亮,等. 高寒草地不同退化程度下土壤微生物及土壤酶活性变化特征[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(3): 244-249.