

刘育红,魏卫东,杨元武,等.三江源区退化高寒草甸植物功能群特征[J].江苏农业科学,2019,47(1):286-291.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.067

三江源区退化高寒草甸植物功能群特征

刘育红,魏卫东,杨元武,张 英

(青海大学农牧学院,青海西宁 810016)

摘要:在退化高寒草甸设置研究样地及观测样方,测定植物群落数量特征指标,分析退化高寒草甸植物功能群(plant functional groups, PFGs)特征。结果表明,退化高寒草甸群落植被盖度、地上生物量、物种数、多样性指数、均匀度指数均发生变化;随着退化程度的加剧,莎草科、禾本科功能群组成物种减少,豆科、杂类草功能群组成物种在轻度退化时最多,随后也减少;从未退化草地到极度退化草地, PFGs 种类由 4 种减少至 2 种,莎草科、禾本科功能群重要值由未退化草地的 69.80 降低到重度退化的 4.83,并在极度退化程度时从群落中退出,杂类草重要值则由未退化的 26.18 增加到极度退化的 93.46,研究样地 PFGs 重要值不同退化程度间均差异显著($P < 0.05$);退化高寒草甸 PFGs 沿退化梯度对土壤资源的利用能力不同, PFGs 生态位宽度呈杂类草 > 豆科 > 禾本科 > 莎草科的变化趋势,莎草科与杂类草间生态位重叠较小。 PFGs 特征对高寒草甸的退化响应显著,草地群落由未退化草地的莎草科、禾本科、豆科、杂类草功能群演替为极度退化草地的豆科和杂类草,使得高寒草甸的生产功能和生态功能削弱。

关键词:高寒草甸;退化;植被;植物功能群;特征

中图分类号: S812.29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)01-0286-05

青海省三江源区是世界上海拔高、面积大、分布集中的高寒草地生态系统和重要的水源涵养区。三江源区高寒草甸是在青藏高原特有的气候、地理、植被等条件下经长期演化和发展形成的独特生态系统,稳定性及自我修复能力差,易受自然及人为因素干扰,一旦发生退化演替,恢复缓慢甚至不可逆转。近 40 年来,在全球气候变化、草地载畜量增加、啮齿动物特别是高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)危害严重^[1]等因素作用下,三江源区高寒草甸呈退化态势^[2],降低了草地生产和服务功能^[3],对三江源区河川径流^[4]、高原冻土产生不利影响,使得区域生态环境恶化,削弱了三江源区的生态屏障。在此背景下,三江源区生态环境问题成为草地生态学领域的研究热点。一段时间以来,研究集中于退化草甸植物群落特征与土壤性质或土壤环境关系方面^[5-6],土壤化学性质方面^[7-8],以及土壤有机碳、土壤碳储量、土壤微生物量碳、土壤酶活性等方面^[9-14]。

植物功能群(plant functional groups, PFGs)是基于植物分类和植物形态、生理、生活史等生物学特性划分的对环境因子有相似反应、具有某些确定功能特征的物种群^[15]。 PFGs 内的物种对生态系统的作用有较大的一致性。因此,可将 PFGs 作为研究植物随环境变化的基本单元^[16],以揭示 PFGs 在生态系统中的作用、功能及其与生态系统功能的相关性^[17-18]。针对 PFGs 方面的研究已取得一定的成果,如森林生态系统中 PFGs 生长、光合的生理生态特性^[19-20],土壤氮磷含量对

PFGs 叶片氮磷比的影响^[21]等。在草地生态系统中, PFGs 可以表征草地群落结构的复杂性和稳定性,在草地生态系统退化研究中发挥着作用^[22],如氮素、水分、不同草地载畜率等对草地 PFGs 生物量的影响^[23-25];放牧干扰对草地 PFGs 水分、氮素利用率的影响^[26];土壤有机碳含量、高寒草甸退化演替与 PFGs 数量特征间的关系等^[27]。结合前人的工作可以看出,针对高寒草甸 PFGs 尚待回答的科学问题还包括在高寒草甸不同退化阶段 PFGs 中的物种组成以及 PFGs 的种类、功能群重要值、生态位宽度发生了怎样的变化, PFGs 的演替呈现怎样的规律等。基于这些问题,在三江源区高寒草甸选择具有典型高寒草甸特征的研究样地,进行高寒草甸退化现状调查、退化高寒草甸植物群落数量特征观测及土壤样品采集与分析,研究退化高寒草甸 PFGs 特征,以期对退化高寒草甸的相关研究和生态治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于三江源核心区的青海省果洛州玛沁县、甘德县、达日县。果洛州(32°21'~35°45'N, 96°56'~101°45'E)总面积 7.6 万 km²,草地面积 625.1 万 hm²,其中高寒草甸占 56.3%。全州平均海拔 4 200 m,属高原大陆型气候,气温低、温差大、辐射强,年均温 -4℃,年均降水量 513.2 mm,年均蒸发量 1 462.4 mm,年均日照时数 2 260.3 h。高寒草甸原生草地植物群落中莎草科高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)等为优势种,其他植物属于禾本科(Gramineae)、菊科(Compositae)、玄参科(Scrophulariaceae)、豆科(Leguminosae)等;高寒草甸草地广泛分布高山草甸土。

1.2 样地设置

在具有典型高寒草甸特征的研究样地,利用空间分布代替时间演替的方法^[28]对退化高寒草甸植物功能群特征进行

收稿日期:2018-03-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:31460151,31560167)。

作者简介:刘育红(1973—),女,陕西宝鸡人,硕士,教授,从事草地生态环境研究。E-mail:469964723@qq.com。

通信作者:魏卫东,硕士,教授,从事高寒草地生态环境研究。E-mail:qhweidong@163.com。

研究。依据任继周等对高寒草地退化程度划分的方法^[29-30]，结合样地啮齿动物危害、土壤侵蚀等情况综合评价样地退化程度，将研究样地归为 5 种退化程度，即未退化(undegradation,UD)、轻度退化(light degradation,LD)、中度退化(moderate degradation,MD)、重度退化(heavy degradation,

HD)和极度退化(extreme degradation,ED)。研究样地为高山嵩草草地型,优势植物种为高山嵩草、矮嵩草等,土壤为高山草甸土。样地均为阳坡,坡度 9°~17°,研究样地大小为 50 m×30 m。研究样地及样地土壤性质基本情况见表 1、表 2。

表 1 研究样地基本情况

编号	地点	退化程度	经度(E)	纬度(N)	海拔(m)	盖度(%)	地上生物量(g/m ²)	物种数(种)	多样性指数	均匀度指数
1	MQDW	UD	100°14'12"	34°27'38"	3 825	92.16±1.39	540.72±23.84	16.4±1.7	2.33±0.05	0.84±0.02
2	MQDW	LD	100°16'09"	34°24'23"	3 748	85.80±0.85	461.96±35.39	25.2±1.3	2.88±0.07	0.89±0.01
3	MQDW	MD	100°17'26"	34°16'32"	4 020	65.72±5.72	371.41±34.77	22.0±1.7	2.98±0.08	0.96±0.01
4	MQDL	MD	99°26'05"	33°58'54"	4 226	69.61±5.25	324.88±32.25	22.6±2.2	3.01±0.09	0.97±0.01
5	MQDL	ED	99°28'09"	33°57'55"	4 167	24.99±2.15	125.99±37.07	11.8±0.4	2.31±0.06	0.94±0.01
6	MQDL	ED	99°25'31"	34°01'31"	4 186	20.54±3.10	138.76±24.29	11.8±0.4	2.30±0.05	0.93±0.01
7	MQYY	ED	99°17'22"	34°09'01"	4 323	23.39±3.59	145.07±39.51	11.6±0.5	2.24±0.05	0.91±0.01
8	MQYY	ED	99°25'33"	34°01'33"	4 275	22.81±2.94	125.43±34.23	11.8±0.4	2.33±0.03	0.94±0.01
9	MQYY	ED	99°25'34"	34°01'34"	4 268	24.87±2.55	131.75±39.66	11.6±0.5	2.28±0.07	0.93±0.01
10	GDQZ	UD	100°12'18"	34°08'54"	4 025	92.33±0.89	543.04±28.45	15.6±1.5	2.31±0.09	0.84±0.01
11	GDQZ	UD	100°11'29"	34°09'32"	4 031	91.95±1.72	546.78±25.43	16.6±2.1	2.27±0.11	0.81±0.03
12	GDQZ	MD	100°02'26"	34°09'11"	4 420	63.94±4.45	342.72±35.37	21.8±0.8	2.96±0.04	0.96±0.01
13	GDQZ	HD	100°01'39"	34°08'21"	4 209	34.58±3.97	208.00±70.82	16.2±1.8	2.55±0.13	0.92±0.02
14	GDQZ	HD	100°12'43"	34°05'17"	4 231	40.17±6.31	239.73±53.31	16.4±1.1	2.59±0.08	0.93±0.01
15	GDSGM	LD	99°31'08"	33°58'15"	4 051	84.47±1.78	492.68±20.34	24.8±1.3	2.87±0.07	0.89±0.01
16	GDSGM	LD	99°34'02"	33°54'16"	4 128	86.66±2.42	464.14±39.74	25.2±1.3	2.87±0.05	0.89±0.02
17	DRJS	MD	99°26'49"	33°46'01"	4 006	71.61±4.23	354.76±28.38	21.4±1.3	2.91±0.07	0.95±0.01
18	DRJS	HD	99°24'12"	33°46'23"	3 993	42.38±4.45	202.28±40.75	15.4±2.2	2.51±0.11	0.92±0.02
19	DRWS	UD	100°01'39"	33°32'10"	4 201	93.21±1.05	564.51±21.80	18.4±0.9	2.36±0.08	0.81±0.02
20	DRWS	LD	100°02'04"	33°30'13"	4 136	84.78±3.27	462.58±44.33	25.2±1.3	2.85±0.07	0.89±0.01
21	DRMZ	UD	100°26'27"	33°16'21"	4 179	92.18±1.48	548.82±28.56	17.0±1.4	2.31±0.08	0.82±0.01
22	DRMZ	LD	100°25'15"	33°17'11"	4 139	85.17±3.07	472.16±37.26	24.8±1.3	2.85±0.07	0.89±0.01
23	DRMZ	MD	100°21'23"	33°19'01"	4 247	69.75±3.13	375.90±22.38	21.8±1.8	2.95±0.08	0.96±0.01
24	DRMZ	HD	100°16'56"	33°21'55"	4 379	36.92±6.63	220.49±55.36	17.2±2.2	2.61±0.11	0.92±0.02
25	DRMZ	HD	100°09'25"	33°24'01"	4 197	36.85±6.95	195.61±60.37	17.0±1.4	2.60±0.08	0.92±0.02

注:MQDW 表示玛沁县大武镇;MQDL 表示玛沁县当洛乡;MQYY 表示玛沁县优云乡;GDQZ 表示甘德县青珍乡;GDSGM 表示甘德县上贡麻乡;DRJS 表示达日县建设乡;DRWS 表示达日县窝赛乡;DRMZ 表示达日县满掌乡。

表 2 不同退化程度研究样地土壤理化性质

退化程度	有机碳含量(g/kg)	全氮含量(g/kg)	有效氮含量(mg/kg)	全磷含量(g/kg)	有效磷含量(mg/kg)	全钾含量(g/kg)	有效钾含量(mg/kg)
UD	58.99±7.96a	3.83±0.19a	33.02±2.65a	0.64±0.09a	5.41±0.89b	20.48±0.28a	253.04±8.08a
LD	44.00±4.83b	3.58±0.33a	32.61±1.52a	0.60±0.07a	7.70±1.13a	22.18±1.32a	208.99±8.16c
MD	39.91±2.80b	2.42±0.12b	23.08±1.39b	0.60±0.02a	6.94±0.42a	20.91±1.22a	224.93±9.97b
HD	30.86±2.42c	1.93±0.17c	19.92±1.20c	0.47±0.06b	4.06±0.39c	20.94±2.12a	161.32±10.78c
ED	23.70±3.25d	1.63±0.18d	16.09±2.04d	0.41±0.08b	2.75±0.26d	17.70±1.46b	147.17±6.19d

退化程度	pH 值	容重(g/cm ³)	土壤含水量(%)	土壤温度(℃)	黏粒(粒径<0.002 mm)比例(%)	沙粒(0.05 mm<粒径<2 mm)比例(%)
UD	7.39±0.15c	1.05±0.02d	33.62±2.61a	18.79±0.35a	17.9±0.72b	41.82±0.46b
LD	7.79±0.02b	1.16±0.03c	30.61±2.03b	19.05±0.81a	19.02±0.89b	34.49±3.24c
MD	7.77±0.03b	1.27±0.05b	21.19±2.09c	20.80±0.40b	23.99±1.11a	25.23±0.63d
HD	7.92±0.04a	1.42±0.07a	12.28±0.97d	24.97±1.91a	14.82±0.57c	45.72±0.79a
ED	7.81±0.03b	1.29±0.03b	11.31±0.58d	25.52±1.06a	12.85±0.87d	43.54±3.15ab

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

1.3 测定方法

2017 年 7 月,在每个研究样地内垂直等高线布设间距 10 m、长度 50 m 的 2 条平行观测样线,每条样线上间隔 10 m 布设 1 个 1 m×1 m 观测样方,样方重复 5 次。其中一条样线

的样方用于观测植物群落数量特征,另一条样线的样方测定土壤容重、土壤含水量等指标并采集土样。

植物群落特征观测包括样方植被总盖度(多人目测平均法)、植物物种数、分物种盖度和高度(自地表至植株顶端自

然高度,每样方测定 20 株,不足 20 株的物种按实际株数测定)、植物地上生物量(分物种齐地面刈割称鲜质量)。采集土样时,每样方内按对角线土钻采集 0~30 cm 土层土样 5 钻,同样地土样混合为 1 个土壤样品,风干后备用;在采集土样的同时,每样方内采用环刀法测定土壤容重、测温计测定土壤温度(15:00—16:00 时温度)、水分测定仪(TDR300)测定土壤含水量(当日无连续性降水时)。土壤化学性质的测定依据文献[31]的方法进行。

1.4 PFGs 的划分

PFGs 的划分一般应用非系统发育分类法,且无统一的划分标准。本研究参考王长庭等的方法^[32-33],将高寒草甸研究样地植物划分为莎草科(Cyperaceae)、禾本科(Gramineae)、豆科(Leguminosae)和杂类草(forbs)4 个功能群。

1.5 数据处理与分析

利用测定的退化高寒草甸植物群落数量特征,计算研究样地群落物种重要值(IV)、物种多样性指数(Shannon - Wiener)、物种均匀度指数(Pielou),PFGs 重要值为该功能群内所有物种重要值之和。另计算 PFGs 生态位宽度(Levins)和生态位重叠(Pianka)指数。

物种重要值(IV):

$$IV = (R_c + R_h + R_b) / 3。$$
 (1)

式中:R_c 为相对盖度;R_h 为相对高度;R_b 为相对生物量。

物种丰富度 Patrick 指数(R):

$$R = S。$$
 (2)

式中:S 为样地物种数。

物种多样性 Shannon - Wiener 指数(H):

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i。$$
 (3)

式中:p_i 为样地中第 i 种的相对重要值,p_i = N_i/N,其中 N_i 为第 i 种的重要值,N 为种 i 所在样方各个种的重要值之和。

表 3 退化高寒草甸植被群落特征

退化程度	盖度 (%)	地上生物量 (g/m ²)	物种数 (种)	多样性指数	均匀度指数
UD	92.37 ± 0.49a	548.77 ± 9.35a	16.8 ± 1.0c	2.32 ± 0.03d	0.82 ± 0.01d
LD	85.38 ± 0.87b	470.70 ± 12.95b	25.0 ± 0.2a	2.86 ± 0.01b	0.89 ± 0.01c
MD	68.13 ± 3.17c	353.93 ± 20.97c	21.9 ± 0.4b	2.96 ± 0.04a	0.96 ± 0.02a
HD	38.18 ± 3.08d	213.22 ± 17.41d	16.4 ± 0.7c	2.58 ± 0.04c	0.92 ± 0.01b
ED	23.32 ± 1.82e	133.40 ± 8.46e	11.8 ± 0.2d	2.29 ± 0.03d	0.93 ± 0.01b

2.2 退化高寒草甸 PFGs 物种组成

高寒草甸植被群落的退化,实质是植物群落发生逆向演替后,群落物种组成及功能群物种组成变化所引起。研究样地分布有 26 种植物,PFGs 中莎草科主要有高山嵩草(Kobresia pygmaea)、矮嵩草(Kobresia humilis)等 4 种植物,禾本科功能群植物有垂穗披碱草(Elymus nutans)和草地早熟禾(Poa pratensis),豆科功能群主要有黄花棘豆(Oxytropis ochrocephala)等 3 种植物,杂类草包括菊科(Compositae)、玄参科(Scrophulariaceae)等在内的 17 种植物,主要有美丽风毛菊(Saussurea pulchra)、细叶亚菊(Ajanía tenuifolia)、甘肃马先蒿(Pedicularis kansuensis)、黄帚橐吾(Ligularia virgaurea)等(表 4)。莎草科、禾本科功能群组成物种均随退化程度的加剧而减少,豆科、杂类草功能群组成物种在轻度退化时种类最多,之后随退化程度加剧也减少。另外,从研究样地不同退化

物种均匀度 Pielou 指数(E):

$$E = \frac{H}{\ln S}。$$
 (4)

功能群生态位宽度 Levins 指数(B_i)(Colwell 等修正^[34]):

$$B_i = \frac{1}{r \sum_{j=1}^r P_{ij}^2}。$$
 (5)

式中:P_{ij} 为功能群 i 在第 j 个资源状态下的重要值占该功能群全部资源状态下重要值之和的比例,P_{ij} = n_{ij}/∑n_{ij};r 在本研究中为退化程度,r = 5。

生态位重叠 Pianka 指数(O_{ik})^[35]:

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2}}。$$
 (6)

式中:O_{ik} 为功能群 i 与功能群 k 的生态位重叠指数;P_{kj} 为功能群 k 在第 i 个资源状态下的重要值占该功能群全部资源状态下重要值之和的比例;其他参数含义同式(5)。

2 结果与分析

2.1 退化高寒草甸植被群落特征

高寒草甸退化的表现之一是植被群落退化。研究样地不同退化程度草地植被群落盖度、地上生物量均呈 UD > LD > MD > HD > ED 的变化趋势,且不同退化程度间差异显著(P < 0.05);群落物种数随退化程度的加剧,呈先增加后减少的变化趋势,LD 样地最多,ED 样地最少,除 UD 样地与 HD 样地间差异不显著(P > 0.05)外,其余样地间均差异显著(P < 0.05);群落物种多样性指数呈 MD > LD > HD > UD > ED 的变化趋势,均匀度指数则呈 MD > ED > HD > LD > UD 的变化趋势(表 3)。

程度高寒草甸 PFGs 种类看,在 UD、LD、MD、HD 样地,有莎草科、禾本科、豆科、杂类草 4 种功能群,而在 ED 样地,仅有豆科、杂类草 2 种功能群(表 4)。

2.3 退化高寒草甸 PFGs 重要值

研究样地 PFGs 重要值因退化程度的不同和功能群种类的不同而变化(表 5)。莎草科、禾本科功能群重要值呈 UD > LD > MD > HD 的变化趋势,豆科功能群重要值呈 HD > MD > LD > ED > UD 的变化趋势,杂类草功能群重要值则呈 ED > HD > MD > LD > UD 的变化趋势,各功能群重要值不同退化程度间差异显著(P < 0.05)。伴随草地的退化进程,莎草科、禾本科功能群重要值由 UD 样地的 69.80 降低到 HD 样地的 4.83,在 ED 样地莎草科、禾本科功能群从群落中退出;杂类草功能群重要值则由 UD 样地的 26.18 增加到 ED 样地的 93.46;从 UD 样地到 HD 样地,莎草科功能群重要值的下降

表 4 退化高寒草甸植物功能群物种组成及重要值

高寒草甸植物群落物种	科名	重要值					所属植物功能群
		UD	LD	MD	HD	ED	
高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	莎草科 Cyperaceae	27.06 ± 2.55	15.82 ± 0.47	9.51 ± 1.67	0.27 ± 0.31	—	莎草科
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	莎草科 Cyperaceae	19.33 ± 0.78	20.35 ± 0.66	6.99 ± 1.01	1.60 ± 0.36	—	莎草科
线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i>	莎草科 Cyperaceae	5.88 ± 0.19	1.54 ± 0.07	0.43 ± 0.40	0.16 ± 0.35	—	莎草科
青藏苔草 <i>Carex moorcroftii</i>	莎草科 Cyperaceae	7.93 ± 0.70	2.56 ± 0.07	1.11 ± 0.34	0.30 ± 0.31	—	莎草科
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	禾本科 Gramineae	7.88 ± 0.94	4.08 ± 0.19	2.61 ± 0.39	2.34 ± 0.31	—	禾本科
草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	禾本科 Gramineae	1.72 ± 0.04	2.32 ± 0.12	2.25 ± 0.95	0.17 ± 0.20	—	禾本科
黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	豆科 Leguminosae	1.89 ± 0.26	2.23 ± 0.42	3.61 ± 0.13	9.66 ± 0.68	6.54 ± 1.35	豆科
甘肃棘豆 <i>Oxytropis kansuensis</i>	豆科 Leguminosae	—	2.68 ± 0.20	3.57 ± 0.59	—	—	豆科
肾形子黄芪 <i>Astragalus weigoldianus</i>	豆科 Leguminosae	2.13 ± 0.42	1.69 ± 0.51	2.50 ± 0.35	1.92 ± 0.70	—	豆科
美丽风毛菊 <i>Saussurea pulchra</i>	菊科 Compositae	3.38 ± 0.26	3.90 ± 0.49	7.26 ± 0.65	2.68 ± 0.82	3.72 ± 0.39	杂类草
乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	菊科 Compositae	2.09 ± 0.26	3.54 ± 0.38	4.75 ± 0.86	2.70 ± 0.86	—	杂类草
矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i>	菊科 Compositae	1.82 ± 0.35	2.57 ± 0.34	3.28 ± 0.64	3.10 ± 0.17	2.19 ± 0.42	杂类草
细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	菊科 Compositae	1.01 ± 0.32	1.28 ± 0.15	2.09 ± 0.40	7.65 ± 0.70	15.62 ± 1.87	杂类草
钉柱委陵菜 <i>Potentilla saundersiana</i>	蔷薇科 Rosaceae	2.28 ± 0.18	3.21 ± 0.45	4.58 ± 0.57	—	—	杂类草
三脉梅花草 <i>Parnassia trinervis</i>	虎耳草科 Saxifragaceae	1.88 ± 0.69	3.48 ± 0.39	—	—	—	杂类草
高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	毛茛科 Ranunculaceae	2.76 ± 0.35	3.30 ± 0.11	3.21 ± 0.37	0.07 ± 0.07	—	杂类草
圆穗蓼 <i>Polygonum macrophyllum</i>	蓼科 Polygonaceae	7.89 ± 1.61	5.27 ± 0.38	3.14 ± 0.58	2.99 ± 1.33	—	杂类草
矮生忍冬 <i>Lonicera minuta</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	—	2.10 ± 0.34	3.37 ± 0.41	8.76 ± 1.33	12.39 ± 0.63	杂类草
全缘叶绿绒蒿 <i>Meconopsis integrifolia</i>	罂粟科 Papaveraceae	—	1.42 ± 0.41	1.69 ± 0.31	9.23 ± 1.10	9.55 ± 1.17	杂类草
唐古特虎耳草 <i>Saxifraga tangutica</i>	虎耳草科 Saxifragaceae	2.18 ± 0.49	2.57 ± 0.14	2.70 ± 0.29	8.02 ± 1.02	7.08 ± 0.86	杂类草
短穗兔耳草 <i>Lagotis brachyatachya</i>	玄参科 Scrophulariaceae	0.72 ± 0.39	2.27 ± 0.26	2.45 ± 0.69	7.17 ± 0.79	8.50 ± 1.12	杂类草
黄帚橐吾 <i>Ligularia virgaurea</i>	菊科 Compositae	—	2.47 ± 0.43	4.53 ± 0.46	15.18 ± 1.11	15.84 ± 0.84	杂类草
甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>	玄参科 Scrophulariaceae	0.16 ± 0.13	2.32 ± 0.15	5.21 ± 0.64	7.32 ± 0.85	6.36 ± 1.18	杂类草
铁棒锤 <i>Aconitum pendulum</i>	毛茛科 Ranunculaceae	—	3.20 ± 0.45	5.17 ± 1.00	6.7 ± 0.57	10.01 ± 0.87	杂类草
麻花艸 <i>Gentiana straminea</i>	龙胆科 Gentianaceae	—	2.21 ± 0.29	6.64 ± 1.15	—	—	杂类草
白苞筋骨草 <i>Ajuga lupulina</i>	唇形科 Labiatae	—	1.60 ± 0.14	7.36 ± 1.01	2.02 ± 0.30	2.20 ± 0.61	杂类草

注：“—”表示该物种未出现。表 5 同。

表 5 不同退化程度高寒草甸 PFGs 重要值

退化程度	重要值			
	莎草科	禾本科	豆科	杂类草
UD	60.20 ± 1.47a	9.60 ± 0.97a	4.02 ± 0.66d	26.18 ± 0.81e
LD	40.27 ± 0.57b	6.40 ± 0.20b	6.59 ± 0.49c	46.73 ± 0.60d
MD	18.03 ± 2.13c	4.86 ± 0.88c	9.68 ± 0.84b	67.43 ± 1.83c
HD	2.32 ± 0.79d	2.51 ± 0.44d	11.57 ± 1.28a	83.58 ± 0.86b
ED	—	—	6.54 ± 1.35c	93.46 ± 1.35a

幅度分别为 33.11%、55.23%、87.13%。说明高寒草甸重度退化是影响莎草科功能群重要值降低的重要阶段,到极度退化阶段,莎草科、禾本科功能群已从群落中退出,豆科和杂类草功能群构成的草地毒杂草成为优势种,草地生产功能丧失。

2.4 退化高寒草甸 PFGs 生态位宽度及生态位重叠

植物生态位能够较好地反映物种与物种、物种与环境间的相互作用,也能够从物种对资源利用方面反映物种的存在、竞争与适合度,生态位重叠则反映了物种在资源利用方面的交叉情况。随着高寒草甸退化程度的加剧,土壤理化性质随之发生变化,土壤氮磷含量、土壤含水量、有机碳含量等降低(表 2),导致可供功能群植物利用的土壤资源发生改变,加之不同功能群植物对资源的竞争能力不同,使得 PFGs 沿退化梯度的生态位宽度呈杂类草 > 豆科 > 禾本科 > 莎草科的变化趋势。从高寒草甸 PFGs 生态位重叠指数看,莎草科与禾本科、豆科与杂类草之间具有较高的生态位重叠,说明在利用土壤资源时种间竞争较为激烈,而莎草科与杂类草间生态位重

叠较小,即使在未退化原生高寒草甸,也分布有较多的杂类草物种(表 6)。

表 6 高寒草甸 PFGs 生态位宽度及生态位重叠

功能群	生态位宽度	生态位重叠指数		
		禾本科	豆科	杂类草
莎草科	0.523 6	0.974 4	0.522 9	0.428 6
禾本科	0.670 1		0.676 7	0.560 3
豆科	0.870 7			0.957 1
杂类草	0.894 1			

3 讨论

高寒草甸草地退化阶段不同,PFGs 特征也发生相应变化。本研究以高寒草甸 PFGs 为对象,对不同退化程度草地 PFGs 特征进行分析,发现在高寒草甸不同退化阶段,植被盖度等群落数量特征不同,盖度、地上生物量、物种数呈减少趋势;随退化程度的加剧,莎草科、禾本科功能群组成物种减少,豆科、杂类草功能群组成物种在轻度退化时最多随后也减少;高寒草甸群落退化影响到 PFGs 的种类,随退化程度加剧,莎草科、禾本科功能群重要值降低,豆科、杂类草功能群重要值总体呈增加趋势,群落由莎草科、禾本科、豆科、杂类草功能群演替为豆科和杂类草功能群,重度退化是莎草科功能群重要值降低的重要阶段;PFGs 沿退化梯度对资源的利用能力不同,莎草科功能群生态位宽度小于豆科、杂类草功能群,莎草

科与杂类草间生态位重叠较小。

本研究认为,高寒草甸 PFGs 特征的变化除受到气候变化等自然因素的影响外,高寒草地放牧行为,特别是放牧强度是导致草地 PFGs 特征变化的重要因素之一。在放牧行为驱动下,不同 PFGs 的响应策略不同,使得群落中 PFGs 物种组成发生变化,引起功能群的演替。牛钰杰等在研究了高寒草甸功能群对放牧的响应后认为,莎草科与杂类草对放牧反应存在差异是导致草甸群落特征变化的原因^[36];张小红等在克氏针茅草原研究中也发现,随着放牧强度的增加,多年生禾草在群落中的优势地位下降^[37]。本研究与这些研究的观点是一致的。从另一个角度看,轻度放牧或草地在轻度退化阶段时,群落中 PFGs 的物种组成最多、稳定性还是较高的,而到了重度退化阶段,莎草科功能群的重要值大幅度降低,可以认为防止高寒草甸由中度退化过渡到重度退化是维持高寒草地生态系统稳定性的重要节点。

包秀霞等对典型草原 PFGs 生态位宽度研究后发现,多年生草本、一年生草本的生态位宽度较大,原因是随着高寒草原的退化,一年生植物比例增加,占据更多资源^[38]。这与本研究得到的沿退化梯度高寒草甸群落中杂类草功能群重要值增加,生态位宽度变大,莎草科功能群重要值降低,生态位宽度变小的结果是一致的。从生态位宽度角度还反映出,莎草科、禾本科功能群对土壤资源的利用能力弱于杂类草和豆科功能群,莎草科、禾本科功能群随退化程度的加剧竞争资源能力和生活能力减弱、分布范围缩小,最终从高寒草甸群落中退出。

本研究认为,在退化高寒草甸,PFGs 特征与草地土壤理化因子间存在响应与反馈的作用。由于 PFGs 的演替要早于草地土壤的退化,而土壤物理性质的恶化及主要营养成分含量的降低又会加速 PFGs 的演替进程,尤其是土壤因子不利于莎草科功能群时,杂类草占据了莎草科的生活空间,争夺更多的资源。当然,引起高寒草甸 PFGs 与土壤退化深层次原因及机制值得继续研究,方能服务于高寒草甸植被恢复重建及建立稳定的高寒草地生态系统。

在高寒草甸不同退化阶段,PFGs 由莎草科、禾本科向豆科、杂类草演替,在极度退化样地仅有豆科和杂类草功能群,此退化阶段 PFGs 中存在的豆科、杂类草虽对畜牧业生产不利,但其具备的对土壤氮素的影响、防水蚀、防风蚀等作用对草甸土壤、退化草甸的生态治理具有积极意义^[39]。

高寒草甸退化,既对当地畜牧业极为不利,更恶化了当地的生态环境条件,亟待通过合理、科学、可行的途径对退化草地加以治理。否则,高寒草甸退化加剧的发展方向之一就是草地的荒漠化。因此,针对高寒草甸生态环境问题开展深入研究,揭示其规律,发现其解决措施也是科研人员亟待开展的工作。

参考文献:

- [1] Dong Q M, Zhao X Q, Wu G L, et al. A review of formation mechanism and restoration measures of “black – soil – type” degraded grassland in the Qinghai – Tibetan Plateau [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 70 (5): 2359 – 2370.
- [2] Li X L, Perry G L W, Brierley G, et al. Restoration prospects for Heitutan degraded grassland in the Sanjiangyuan [J]. *Journal of*

Mountain Science, 2013, 10 (4): 687 – 698.

- [3] 张法伟, 王军邦, 林 丽, 等. 青藏高原高寒嵩草草甸植被群落特征对退化演替的响应 [J]. *中国农业气象*, 2014, 35 (5): 504 – 510.
- [4] Feng A Q, Li Y Z, Gao J B, et al. The determinants of streamflow variability and variation in Three – River Source of China: climate change or ecological restoration? [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2017, 76: 696.
- [5] 林 丽, 李以康, 张法伟, 等. 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征 [J]. *生态学报*, 2013, 33 (17): 5245 – 5251.
- [6] 宗 宁, 石培礼, 蒋 婧, 等. 浅耕对西藏高原退化草甸土壤和植物群落特征的影响 [J]. *草业科学*, 2014, 31 (1): 8 – 14.
- [7] 张生楹, 张德罡, 柳小妮, 等. 东祁连山不同退化程度高寒草甸土壤养分特征研究 [J]. *草业科学*, 2012, 29 (7): 1028 – 1032.
- [8] 陈淑燕, 张德罡. 不同退化阶段高寒草甸草地土壤钾素的变化分析 [J]. *草原与草坪*, 2013, 33 (3): 74 – 77.
- [9] 刘淑丽, 林 丽, 张法伟, 等. 放牧季节及退化程度对高寒草甸土壤有机碳的影响 [J]. *草业科学*, 2016, 33 (1): 11 – 18.
- [10] 刘育红, 魏卫东, 温小成, 等. 退化高寒草甸土壤有机碳组分特征 [J]. *西北农业学报*, 2015, 24 (2): 168 – 174.
- [11] 刘淑丽, 林 丽, 杜岩功, 等. 青海省高寒草甸不同退化阶段土壤无机碳分异特征 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33 (5): 1290 – 1296.
- [12] 林 丽, 张法伟, 李以康, 等. 高寒矮嵩草草甸退化过程土壤碳氮储量及 C/N 化学计量学特征 [J]. *中国草地学报*, 2012, 34 (3): 42 – 47.
- [13] 魏卫东, 刘育红. 不同退化程度高寒草地土壤微生物量碳特征分析 [J]. *西北农业学报*, 2014, 23 (2): 205 – 210.
- [14] 胡 雷, 王长庭, 王根绪, 等. 三江源区不同退化演替阶段高寒草甸土壤酶活性和微生物群落结构的变化 [J]. *草业学报*, 2014, 23 (3): 8 – 19.
- [15] 焦树英, 韩国栋, 李永强, 等. 不同载畜率对荒漠草原群落结构和功能群生产力的影响 [J]. *西北植物学报*, 2006, 26 (3): 564 – 571.
- [16] Woodward F I, Cramer W. Plant functional types and climatic changes introduction [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1996, 7 (3): 306 – 308.
- [17] Bonet A. Secondary succession of semi – arid Mediterranean old – fields in southeastern Spain: insights for conservation and restoration of degraded lands [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 56 (2): 213 – 233.
- [18] Pausas J G, Austin M P. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2001, 12 (2): 153 – 166.
- [19] Wang H Y, Chen H. Plant functional groups based on vegetative and reproductive traits in a subtropical forest community [J]. *Journal of Forest Research*, 2013, 18 (6): 482 – 490.
- [20] 范玉龙, 刘慧敏, 胡 楠, 等. 伏牛山自然保护区森林生态系统植物功能群光合特性 [J]. *生态学报*, 2016, 36 (15): 4609 – 4616.
- [21] Pan F J, Zhang W, Liu S J, et al. Leaf N: P stoichiometry across plant functional groups in the karst region of southwestern China [J]. *Trees*, 2015, 29 (3): 883 – 892.
- [22] 范高华, 神祥金, 李 强, 等. 松嫩草地草本植物生物多样性: 物种多样性和功能群多样性 [J]. *生态学杂志*, 2016, 35 (12): 3205 – 3214.

刘伟杰,贺小娜,韩珊珊,等. 禽畜粪便中抗生素耐药菌的分离与分子鉴定[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):291-293.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.068

禽畜粪便中抗生素耐药菌的分离与分子鉴定

刘伟杰,贺小娜,韩珊珊,孙 地,董 振,付 娟

(江苏师范大学生命科学学院/江苏省药用植物生物技术重点实验室,江苏徐州 221116)

摘要:近年来,各种抗生素在禽畜养殖业中被大量滥用,导致抗生素耐药菌大量产生,严重危害生态环境和人体健康。通过对 4 个不同地区禽畜粪便中的抗生素耐药菌进行分离,共分离到 17 株不同的耐药菌,其中 12 株可以耐受 2 种及以上的抗生素。通过 16S rRNA 序列比对分析确定了耐药菌株的种属地位,对于了解喂食抗生素禽畜粪便中常见的耐药菌具有一定的理论指导意义,同时也为含有抗生素废水的治理积累了菌种资源。

关键词:禽畜粪便;抗生素;耐受性;分离;分子鉴定

中图分类号: S852.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)01-0291-03

我国是抗生素生产和使用大国,每年生产抗生素 20 万 t,其中有 40% 左右被用于禽畜养殖业,尤其在鸡、鸭、猪的养殖中使用更为严重^[1-2]。常见的抗生素如四环素、氨基青霉素、庆大霉素、卡那霉素、红霉素等可以有效杀灭病原菌,在短时间内可以减少畜牧养殖业因病原菌引起的经济损失^[3]。然而,随着我国规模化、集约式畜禽养殖业的快速发展,抗生素

的使用量急剧增加。养殖户为了追逐经济利益,滥用抗生素,使得大部分抗生素未被利用便随粪便和尿液排出体外,造成动物粪便中抗生素含量严重超标^[4],因此,在畜禽粪便中产生了大量的抗生素耐药微生物^[2,5],甚至是超级细菌。

在我国,越来越多的禽畜粪便被资源化利用,制成有机肥被施用于农田土壤中。粪便中含有的耐药微生物所携带的质粒、转座子等成为抗性基因转移和传播的主要因素,这些耐药微生物可以通过直接或者间接接触(如食物链)等途径进入人体,从而给人类公共健康带来威胁^[6-7]。耐药微生物和耐药基因已经成为新型的污染源,引起人们的广泛关注,然而目前对禽畜养殖粪便中常见耐药菌的研究还较少。

本研究从江苏不同地区的养殖场采集了 4 个禽畜粪便样品,分别为无锡市宜兴养鸭场粪便、徐州市沛县养鸭场粪便、徐州市沛县养鸡场粪便、徐州市丰县养鸭场粪便。通过耐药

收稿日期:2017-08-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:31300054);江苏省自然科学基金青年科学基金(编号:BK20130228);江苏省自然科学基金面上项目(编号:BK20171163);江苏省徐州市科技计划(编号:KC15N0014);江苏省高校优势学科建设工程(PAPD)。

作者简介:刘伟杰(1982—),男,黑龙江讷河人,博士,副教授,主要从事环境微生物学研究。E-mail:leonliu2013@126.com。

[23]李文娇,王 慧,赵建宁,等. 氮素和水分添加对贝加尔针茅草原植物功能群地上生物量的影响[J]. 中国草地学报,2015,37(2):7-13.

[24]Haugwitz M S,Michelsen A. Long-term addition of fertilizer,labile carbon,and fungicide alters the biomass of plant functional groups in a subarctic-alpine community[J]. Plant Ecology,2011,212(4):715-726.

[25]古 琛,杜宇凡,乌力吉,等. 载畜率对荒漠草原群落及植物功能群生物量的影响[J]. 生态环境学报,2015,24(12):1962-1968.

[26]王亚婷,王 玺,赵天启,等. 不同放牧强度上内蒙古短花针茅草原植物功能群水分和氮素利用效率相关分析[J]. 生态环境学报,2017,26(6):964-970.

[27]林 丽,李以康,张法伟,等. 高寒草地土壤有机碳含量同植物功能群数量特征关联度或然性初探[J]. 草地学报,2015,23(1):55-61.

[28]Barbour M,Burk G,Pitts J H. Terrestrial plant ecology[M]. London:The Benjamin Publishing Company,1980.

[29]任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998:95.

[30]赵新全. 三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理[M]. 北京:科学出版社,2011:127-128.

[31]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1999:28-

106.

[32]王长庭,龙瑞军,丁路明. 高寒草甸不同草地类型功能群多样性及组成对植物群落生产力的影响[J]. 生物多样性,2004,12(4):403-409.

[33]赵建中,彭 敏,刘 伟,等. 矮嵩草草甸不同功能群主要植物种生长特征与地表温度的相关性分析[J]. 西北植物学报,2012,32(3):559-565.

[34]Colwell R K,Futuyma D J. On the measurement of niche breadth and overlap[J]. Ecology,1971,52(4):567-576.

[35]Pianka E R. The structure of Lizard communities[J]. Annual Review of Ecology and Systematics,1973(4):53-74.

[36]牛钰杰,杨思维,王贵珍,等. 放牧干扰下高寒草甸植物功能群组成的时空变化——以甘肃省天祝县为例[J]. 草原与草坪,2017,37(3):29-35.

[37]张小红,宋彦涛,乌云娜,等. 放牧强度对克氏针茅草原植物功能群的影响[J]. 草业科学,2017,34(10):2033-2041.

[38]包秀霞,易 津,廉 勇,等. 放牧方式对中蒙典型草原植物功能群特征的影响[J]. 植物研究,2013,33(2):159-165.

[39]Zhang R,Shi X M,Li W J,et al. Responses of plant functional groups to natural nitrogen fertility on an alpine grassland in the Qinghai-Tibet plateau[J]. Russian Journal of Ecology,2016,47(6):532-539.