

青藏高原高寒草甸退化演替的分区特征

王建兵^{1,2}, 张德罡^{1*}, 曹广民³, 田青¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省社会科学院, 甘肃 兰州 730070;

3. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘要:2005—2012年,进行了青藏高原高寒草甸主要分布地区草地状况的调查,禾草—矮嵩草群落是青藏高原高寒嵩草草甸的典型地带性植被,对处于不同退化程度的小嵩草群落采取封育或减牧后,均可恢复到禾草—矮嵩草群落,但由于退化程度的不同,恢复所需要的时间具有极大的差异。青海果洛地区高寒草甸多处于以小嵩草群落草毡表层剥蚀和杂类草—黑土型退化草地演替阶段,玉树地区处于矮嵩草群落向小嵩草群落的演替阶段,祁连山区处于禾草—矮嵩草群落,藏北高原则处于矮嵩草群落向小嵩草群落转化期或正常小嵩草群落时期。禾本科、莎草科等可食牧草逐渐减少和杂类草盖度急剧增加的趋势反映了高寒草甸退化演替过程植被变化的基本特征,草地退化造成了土壤容重增加,且表层土壤对放牧的敏感性高于底层,土壤0~10,10~20和20~40 cm容重分别增加了(0.50±0.08) g/m³, (0.16±0.07) g/m³和(0.04±0.03) g/m³。同时,有机质大幅降低,其降低幅度高达19.3%~53.2%,并随着土层的加深,降幅趋于减小。

关键词:高寒草甸;退化演替;植被特征;土壤性状

中图分类号:S812.6+8 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2013)02-0001-10

青藏高原面积 253×10^4 km²,占我国国土面积的26%。其主体生态系统为高寒草地生态系统,覆盖面积占50.9%,高寒草甸生态系统在亚洲中部高寒环境以及世界高寒地区都极具代表性。全中国的高寒草甸生态系统共包含了约35.4 Pg的碳,约相当于中国所有草地碳库总量的26.4%^[1,2]。因此,高寒草甸在水源涵养、生物多样性保护和碳素固定等方面起着不可替代的生态屏障作用^[3,4],对保护国家生态安全意义重大。然而,近几十年来,高寒草甸生态系统的结构和功能过程发生了严重退化,草甸(包括植物和土壤)质量衰退,生产力、经济潜力及服务功能降低,生态环境恶化,生物多样性及其复杂性程度降低,生态系统的恢复功能减弱乃至丧失^[5-7]。高寒草甸的退化,多归咎于人类活动对其生产力的过度索取^[8-10]、气候的暖干化效应^[11,12]或二者之间的耦合效应^[13]。

青藏高原高寒草甸分布区域广阔,区域气候与人类活动干扰差异较大。在高寒草地退化逐渐加剧的过程中,禾草类逐渐降低,而莎草类呈逐渐增加的趋势,可见适应于该区气候的顶级群落优势植物莎草类相对于禾草类有较强的竞争优势^[14]。通过6年围栏封育,高寒草甸初级生产力先降低后增至最大值,随后又出现下降,说明围栏封育对草地初级生产力的影响不仅与草地类型有关,而且与草地分布的生境有关,也可能与封育期的气候环境有关^[15]。在高寒草甸沙化演替系列上,植物种群的分布呈明显的更替现象,表现为随沙化程度增加,禾草类紫羊茅(*Festuca rubra*)和豆科类花苜蓿(*Medicago ruthenica*)物种的重要值和优势度逐渐减少^[16]。对不同海拔梯度的高寒草地地上生物量分布格局进行研究时发现,海拔与地上生物量的关系因植物种类不同而不同,即与莎草科植物地上生物量呈显著正相关,而与禾本科植物地上生物量呈显著负相关^[17]。青藏高原高寒草甸分布区地域辽阔,地形破碎,人类活动干扰的方式与强度复杂多样,其高寒草甸虽呈现出大面积退化现象,然而不同分区草甸退化的过程是什么?其退化特征是什么?高寒草甸的地带性植被究竟是什么?鲜有人做过系统的研究。本研究在高寒草甸主要分布区域考察的基础上,结合定位观测,试图就青藏高原高寒草甸主要分布区草地的演替特征、状态作以分析,为高寒草甸的可持续利用管理提供依据。

收稿日期:2012-09-31;改回日期:2012-11-15

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41030105)和中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050404)资助。

作者简介:王建兵(1971-),男,甘肃武威人,研究员,在读博士。E-mail:wjb120@126.com

* 通讯作者。E-mail:zhangdg@gsau.edu.cn

1 材料与方

2005—2012年,对青藏高原高寒草甸典型分布区进行了野外考察,其区域覆盖了青海省黄河源区果洛州、长江源区玉树州和祁连山区海北州,西藏藏北高原的安多、那曲、当雄、索县、比如和班戈县等地区(图1)。其中重点研究区域设置在果洛州玛沁县大武乡格多牧委会(N 34°27.785', E 100°12.787', 海拔3 740 m)、海北州门源种马场(N 37°45', E 101°33', 海拔3 200 m)、玉树州玉树军马场(N 35.511210°, E 96.591656°, 海拔3 907 m)和藏北高原安多县扎仁乡(N 31.9544°, E 91.7291°, 海拔4 643 m)。



图1 野外调查区域

Fig.1 Region of field investigation

在每个重点研究区域内,寻求基本位于同一地形部位、具有相似环境条件的地段,于牧户放牧家畜种类、强度或时段不同造成的土地利用格局差异的地段设置调查样地。采用样带调查法,在样地内随机设置3条25 m长的样带,样带间距300 m,每条样带上每隔5 m设置1个样方,样方面积25 cm×25 cm,重复5次。观测内容包括区域草地的原生植被特征、演替状态、植物生长状况、地表剥蚀及原生植被斑块化特征(表1)。

同时在各主要分区中,选择能代表该地区草地重度退化阶段,同时在毗邻地段又可找到围栏封育的草地为研究对象,进行区域地带性植被特征调查,以及地下、地上生物量,土壤有机质含量[用PE 2400(II)型元素分析仪测定]调查。其中地上生物量采用标准收获法,样方面积25 cm×25 cm,重复5次;地下生物量采用土柱法,土钻内径6 cm,重复6次。

2 结果与分析

2.1 高寒矮嵩草草甸退化演替的分区特征

青藏高原高寒矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸主要分布于青海南部的三江源区、北部祁连山区和藏北高原。调查发现,高寒矮嵩草草甸发生的主要演替过程可以分为禾草—矮嵩草群落、矮嵩草群落、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)群落、杂类草“黑土型”次生裸地4个典型过程,而小嵩草群落根据草毡表层发育状况又可细分为正常发育群落、草毡表层加厚、小嵩草草毡表层剥蚀3个亚期^[18]。

三江源区高寒草甸主要处于小嵩草群落演替阶段,而果洛与玉树州地区仍呈现出较大的差异。果洛州高寒草甸植被以小嵩草群落草毡表层斑驳和杂类草—黑土型退化草甸为主要退化演替特征,面积占该区草甸的65%~70%,植物种群以矮嵩草和小嵩草为优势种,伴生有细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)、橐吾(*Ligularia* sp.)、乳白香青(*Anaphalis lactea*)、忍冬(*Lonicera tibetica*)、棱子芹(*Pleurospermum camtschaticum*)、龙胆(*Gentiana* sp.)、火绒草(*Leontopodium hastioides*)、獐芽菜(*Swertia mussotii*)、棘豆(*Oxytropis*)、黄芪(*Astragalus tibetanus*)、紫菀(*Aster*)等,植被盖度35%~40%。地表老化、死亡的生物结皮占残余老化草皮表面的45%以上,地表

表 1 调查样点基本情况

Table 1 Baseline data of observation plots

地点 Plot	地理位置 Site	演替阶段 Succession stage	植被特征 Characteristics of vegetation	处理代号 Label
青海省海北州青海门源种马场。Menyuan Horse Ranch, Haibei Prefecture, Qinghai Province.	N 37°35.408, E 101°23.519, 3 171 m	禾草—矮嵩草群落 Gramineae grass— <i>K. humilis</i> community	代表祁连山区典型原生植被, 植物种类有垂穗披碱草、野青茅、早熟禾、禾草(高 45 cm), 苜蓿、细叶亚菊、野葱、麻花苻、雪白委陵菜、黄芪、棘豆、二裂委陵菜、多裂委陵菜、蒿子、柴胡、高山唐松草、乳白香青、湿生扁蕾、鸢尾、白苞筋骨草、莲子菜、青海风毛菊。冬季草场。Typical original vegetation in Qilian Mountains. The plant species are <i>E. nutans</i> , <i>Deyeuxia kokonorica</i> , <i>P. calliopsis</i> , Gramineae grass (height, 45 cm), <i>M. ruthenica</i> , <i>A. tenuifolia</i> , <i>Allium fistulosum</i> , <i>G. straminea</i> , <i>P. nivea</i> , <i>A. tibetanus</i> , <i>Oxytropis</i> sp., <i>P. bifurca</i> , <i>Potentilla multifida</i> , <i>Artemisia</i> sp., <i>Bupleurum chinense</i> , <i>T. alpinum</i> , <i>A. lactea</i> , <i>Gentianopsis paludosa</i> , <i>Iris tectorum</i> , <i>Ajuga lupulina</i> , <i>Alternanthera sessilis</i> , <i>Saussurea katochaete</i> . Winter pasture.	NQL
青海省海北州青海门源种马场水安城。Yongancheng, Menyuan Horse Ranch, Haibei Prefecture, Qinghai Province.	N 37°37.106, E 101°14.871, 3 142 m	杂类草—黑土型退化草地 Forbs—“Black soil beach” degraded grassland	代表祁连山区典型退化草地, 这类草地在该区域面积不足 10%。以香薷、鹅绒委陵菜、龙胆、细叶亚菊、银莲花、乳白香青为主, 鼠类活动十分强烈。为原生矮嵩草草地退化顶极阶段。已无放牧价值。Typical degraded grassland in Qilian Mountains, the area of which is less than 10% in this region. The main plant species are <i>E. ciliate</i> , <i>Potentilla anserine</i> , <i>G. afusca</i> , <i>A. tenuifolia</i> , <i>Anemone</i> sp., <i>A. lactea</i> Strongly disturbed by rodents. It is the climax of degraded <i>K. humilis</i> grassland and no grazing value.	DQL
青海省玉树州巴塘机场西 5 km 玉树军牧场。5 km away from Batang Airport, Yushu Army Ranch, Yushu Prefecture, Qinghai Province.	N 32°51.990, E 96°55.676, 3 982 m	禾草—矮嵩草群落 Gramineae grass— <i>K. humilis</i> community	封育 6 年的草地, 代表玉树地区近似原生草植被。禾本科植物以紫花针茅、紫羊茅、早熟禾为优势种群, 构成群落上层, 盖度 60%。下层以矮嵩草为优势种群, 小嵩草较少, 伴生风毛菊、湿生扁蕾、高山唐松草、棘豆、高火绒草、蒿子、乳白香青、獐芽菜、矮火绒草、蒲公英、狼毒、藏忍冬等。地表黑斑 30%, 黑斑周围以矮嵩草为主, 小嵩草较少, 黑斑上可见小的裂缝, 缝隙内未见有草恢复。未见鼠类活动和鼠洞。冬季放牧。Enclosure grassland for 6 years, close to the original grassland in Yushu. In upper synusia, the dominant plant species are <i>S. purpurea</i> , <i>F. rubra</i> , <i>P. calliopsis</i> , the coverage is 60%. In lower synusia, the dominant is <i>K. humilis</i> , accompanied by <i>K. pygmaea</i> , <i>Saussurea katochaete</i> , <i>G. paludosa</i> , <i>T. alpinum</i> , <i>Oxytropis</i> sp., <i>L. hastioides</i> , <i>Artemisia</i> sp., <i>A. lactea</i> , <i>S. bimaculata</i> , <i>L. nanum</i> , <i>T. disscctum</i> , <i>S. chamaejasme</i> , <i>L. tibetica</i> . The area of black patch on ground surface is 30% surrounded by <i>K. humilis</i> and <i>K. pygmaea</i> . No grass was found in slot of black patch. No rodent disturbance. Grazed in winter.	NYS
青海省玉树州巴塘机场西 5 km 玉树军牧场。5 km away from Batang Airport, Yushu Army Ranch, Yushu Prefecture, Qinghai Province.	N 32°51.934, E 96°55.652, 3 988 m	小嵩草群落草毡表层加厚期 Period of mattic epipedon thickening in <i>K. pygmaea</i> community	为小嵩草草甸, 地表死亡黑斑 50%~60%, 植被有针茅、小嵩草、兰石草、狼毒、雪白委陵菜、蒲公英、高山唐松草、三脉梅花草、囊吾、线叶龙胆、鳞叶龙胆等, 矮嵩草呈斑块状分布, 丛径 10~15 cm, 狼毒盖度 8%~10%, 高 25 cm。草地出现黑斑, 偶见裂缝, 未见剥蚀和鼠洞。常年放牧, 以牦牛为主。 <i>K. pygmaea</i> meadow, the area of dead black patch is 50% to 60%. The plant species are <i>Stipa</i> spp., <i>K. pygmaea</i> , <i>L. tibetica</i> , <i>S. chamaejasme</i> , <i>P. nivea</i> , <i>T. disscctum</i> , <i>T. alpinum</i> , <i>P. trinervis</i> , <i>Ligularia</i> sp., <i>G. farrer</i> , <i>G. squarrosa</i> , and <i>K. humilis</i> shows a patch-type distribution with 10 to 15 cm of diameter. The coverage of <i>S. chamaejasme</i> is 8% to 10% with 25 cm of height. Black patches are found with slot. No denudation and rodent cave. Grazed by yak whole year.	DYS

续表 1 Continued

地点 Plot	地理位置 Site	演替阶段 Succession stage	植被特征 Characteristics of vegetation	处理代号 Label
青海省果洛州玛沁县大武乡格多牧委会。Geduo Village, Maqin County, Guoluo Prefecture, Qinghai Province.	N 34°27.785, E 100°12.787, 3 740 m	禾草—矮嵩草群落 Gramineae grass— <i>K. humilis</i> community	围封 8 年草地,代表该区域的典型原生植被特征。禾本科植物为垂穗披碱草,中华羊茅,牧草高 45 cm 左右。莎草属植物为矮嵩草、小嵩草,呈斑块状分布,斑块直径 8~12 cm。杂类草有鹅绒委陵菜、苔草、老鹳草、蓬子菜、西伯利亚蓼、雪白委陵菜、洽草、银莲花。Enclosure pasture for 8 years, typical original vegetation. Gramineae plants are <i>E. nutans</i> , <i>Festuca sinensis</i> with 45 cm of height. Sedges are <i>K. humilis</i> , <i>K. pygmaea</i> in scattered distribution pattern with 8 to 10 cm of diameter. Forbs are <i>P. anserine</i> , <i>Carex pachyrrhiza</i> , <i>Geranium sibiricum</i> , <i>Galium verum</i> , <i>P. sibiricum</i> , <i>Potentilla nivea</i> , <i>Koeleria cristata</i> and <i>A. cathayensis</i>	NGL
青海省果洛州玛沁县大武乡格多牧委会。Geduo Village, Maqin County, Guoluo Prefecture, Qinghai Province.	N 34°21.974, E 100°29.567, 3 968 m	杂类草—黑土型退化草地 Forbs—“Black soil beach” degraded grassland	黑土型退化草地,代表该区域的极度退化草地,占区域面积草地的 60% 以上。以细叶亚菊、香薷、乳白香青、铁线莲、海乳草、马先蒿、大头菊、披碱草为主,鼠洞极多,2~3 个/m ² ,失去牧用价值,自 20 世纪 50 年代起就为退化草地,原生植被剥蚀干净,地表砾石 3%~5%。“Black soil” type degraded pasture which represents the extremely degraded pasture and the area accounts for more than 60%. The main plant species are <i>A. tenuifolia</i> , <i>E. ciliate</i> , <i>A. lactea</i> , <i>C. florida</i> , <i>G. maritima</i> , <i>Pedicularis</i> sp., <i>Cremanthodium</i> sp., <i>Elymus dahuricus</i> . The density of rodent caves is 2—3 holes/m ² . It degraded in 1950s with 3% to 5% of gravel covered ground, and lost its original vegetation and grazing value.	DGL
西藏安多县扎仁乡南 2 km。2 km away from Zharen Township, Anduo County, Tibetan Autonomous Region.	N 31°57.265, E 91°43.743, 4 643 m	矮嵩草—小嵩草群落转化期 Succession period from <i>K. humilis</i> to <i>K. pygmaea</i> community	位于山坡微地形地段,代表该区域类似原生植被,禾本科主要为紫花针茅,高 15~20 cm。生殖枝高 15 cm。小嵩草群落呈斑块状分布,小嵩草斑块均发生老化死亡,形成黑斑,黑斑盖度占斑块的 45%,黑斑上未见裂缝、苔藓。It locates on the slope area and represents the close original vegetation. The main grasses are <i>S. purpurea</i> (height 15—20 cm, height of reproductive branch 15 cm). <i>K. pygmaea</i> community shows a patch distribution pattern, and the grass in patch died and forms black patch without slot and moss. The coverage of black patch is 45%.	NZB
西藏安多县扎仁乡南 2 km。2 km away from Zharen Township, Anduo County, Tibetan Autonomous Region.	N 31°57.275, E 91°43.753, 4 646 m	小嵩草群落草毡表层加厚期 Period of matic epipedon thickening in <i>K. pygmaea</i> community	为该区域草地的代表类型,占区域草地的 45% 以上。以小嵩草草毡表层的加厚和死亡生物结皮盖度快速增加为其基本特征,小嵩草死亡斑块或剥蚀地段,以火绒草、雪白委陵菜、线叶嵩草、麻黄、金露梅为主,退化斑块约占草地的 45%,特别是黑斑退化潜势很大。可见老化草皮黑斑地处抬高约 3~5 cm。冬季草场,未见鼠类活动、裂缝、塌陷与剥蚀。It is the representative grassland type in this region and accounts for more than 45% of area. It is featured with thickening matic epipedon and accelerating biological crustcoverage. The main plant species in patch area are <i>L. hastioides</i> , <i>P. nivea</i> , <i>Kobresia capillifolia</i> , <i>Ephedra sinica</i> , <i>Potentilla fruticosa</i> . The degraded patch accounts for 45% of total grassland area and the old patch is 3 to 5 cm higher above the ground. Winter pasture without rodent activity, slop, sinkage and denudation.	DZB

草皮层剥蚀面积达 60%~70%,剥蚀坑深至 17 cm 左右,尤以玛沁县和达日县草甸为甚。两县草甸处于杂类草—黑土型退化演替阶段的草甸占该区域的 20%~30%,多分布于较大的山间滩地,其植被盖度 25%~30%,以细叶亚菊、香薷(*Elsholtzia ciliate*)、乳白香青、铁线莲(*Clematis florida*)、海乳草(*Glaux maritima*)、马先蒿(*Pedicularis* sp.)、大头菊(*Cremanthodium*)等杂类草为优势种群。鲜有莎草科、禾本科牧草。

玉树地区高寒草甸多处于矮嵩草群落向小嵩草群落演替阶段,或小嵩草群落草毡表层开裂期。其中处于矮嵩草群落向小嵩草群落演替阶段的草地,矮嵩草群落与小嵩草群落呈现镶嵌分布格局,区域内小嵩草群落占地表的 60%~70%,矮嵩草约占 30%左右,呈斑块状分布,斑块直径约 20~30 cm。在各斑块内矮嵩草或小嵩草为绝对优势植物种,植被盖度 65%~70%。在矮嵩草斑块内,可见禾本科紫羊茅、早熟禾 (*Poa calliopsis*),但盖度不足 10%,高低于 5 cm。小嵩草斑块上,禾本科牧草基本消退。此地段地表典型特征为斑块化,小嵩草地段可见草毡表层微弱加厚,比矮嵩草地段抬升约 0.2~0.5 cm。地表未呈现明显的剥蚀特征。清水河镇、巴塘滩东部、治多县城周围及巴干乡一带高寒草甸多处于此退化演替阶段。而巴塘滩西部高寒草甸主要处于小嵩草群落草毡表层开裂期,植物种类以小嵩草为绝对优势种,杂类草主要有兰石草 (*Lancea tibetica*)、狼毒 (*Stellera chamaejasme*)、雪白委陵菜 (*Potentilla nivea*)、蒲公英 (*Taraxacum discatum*)、高山唐松草 (*Thalictrum alpinum*)、三脉梅花草 (*Parnassia trinervis*)、囊吾、线叶龙胆 (*Gentiana farreri*)、鳞叶龙胆 (*Gentiana squarrosa*) 等,植被盖度 40%左右,其地表最明显的特征是死亡生物结皮黑斑的凸显,占地表面积的 80%左右,草毡表层开裂明显,地表裂缝宽愈 3 cm,长 3~5 cm,但没有出现塌陷,剥蚀现象。黑斑上的菌斑大小 6~10 cm 不等,占黑斑面积的 0.3%,厚度在 2 mm 左右。草地草毡表层厚 6~7 cm。

祁连山区高寒草甸总体生长良好,退化程度较轻,草地多处于禾草—矮嵩草群落时期,植被分为两层结构,上层为禾本科牧草,下层为莎草属牧草。其优势植物种群包括:矮嵩草、异针茅 (*Stipa aliena*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、线叶龙胆、矮火绒草 (*Leontopodium nanum*)、早熟禾、麻花苻 (*Gentiana straminea*)、雪白委陵菜、美丽风毛菊 (*Saussurea manshurica*)、二柱头蘆草 (*Scirpus distigmaticus*)、小嵩草。植被盖度 85%~90%。禾本科牧草高 35~40 cm。地表凋落物较多,苔藓发育不连片,草毡表层厚度 2.8 cm 左右,植物根部生物结皮微弱发育,盖度 5%~8%,未见典型的死亡黑斑。其中八宝河流域高寒草甸人为恢复遗迹比较明显,恢复工程发生于 20 世纪 80~90 年代,为垂穗披碱草多年生人工草地,现已向典型高寒嵩草草甸转化,其演替特征为矮嵩草群落急剧增加,但草地物种组成显著低于正常高寒草甸,为 6~7 种/m²,主要有垂穗披碱草、矮嵩草、雪白委陵菜、棘豆、马先蒿、火绒草、麻花苻,牧草盖度 65%~70%。但部分牧户草甸已经发生退化,演变为矮嵩草群落或小嵩草群落,地表黑色结皮盖度 60%左右,死亡生物结皮盖度 25%~30%,个别地段可见老化草皮剥蚀。在祁连县野牛沟乡西部地区,大面积高寒草甸正处于小嵩草群落草毡表层开裂期,地表草毡表层发生明显开裂,裂缝宽 0.5 cm 左右,长度 30~40 cm,地表死亡黑色占地表的 40%左右。特别值得一提的是位于天俊县木里野马岭地区的地带性植被为高寒草原草甸,以禾本科为绝对优势,其植物种有双叉细柄茅 (*Ptilagrostis dichotoma*),冰草,紫羊茅,早熟禾,高 30 cm 左右,杂类草有三脉梅花草、火绒草、钉株委陵菜 (*Potentilla saundersiana*),盖度 20%,下层草中看到莎草属植物,在很多地段,发现其原生植被演变为纯粹小嵩草群落,呈斑块镶嵌于草地中,直径 15~20 cm 不等,其地表被抬升 0.8~1.0 cm。部分地段形成矮嵩草、小嵩草连片的退化趋势,地表苔藓发育有黑色结皮,结皮上有白色菌斑。

藏北高原高寒草甸,多处于矮嵩草群落向小嵩草群落演替期或正常小嵩草群落时期,禾本科植物以紫花针茅

表 2 高寒草甸地带性植被特征
Table 2 Zonal vegetation characteristics
of alpine meadow %

草地状态及分区 Grassland state and subregion	总盖度 Total coverage	禾本科 Gram	莎草 Cype	杂草 Weed
NQL	84±3	26±13	31±19	28±6
DQL	28±2	0	0	28±2
NYS	69±9	18±8	19±4	27±5
DYS	27±5	11±5	10±5	18±3
NGL	98±1	47±19	33±12	22±13
DGL	27±6	0	0	27±6
NZB	77±4	4±3	63±6	14±3
DZB	23±4	6±3	8±4	13±3

注: NQL—祁连地区正常草地; DQL—祁连地区退化草地; NYS—玉树地区正常草地; DYS—玉树地区退化草地; NGL—果洛地区正常草地; DGL—果洛地区退化草地; NZB—祁连地区正常草地; DZB—玉树地区退化草地。下同。

Note: NQL is Qilian area normal grassland; DQL is Qilian area degraded grassland; NYS is Yushu area normal grassland; DYS is Yushu area degraded grassland; NGL is Goluo area normal grassland; DGL is Goluo area degraded grassland; NZB is Qilian area normal grassland; DZB is Yushu area degraded grassland. The same below.

(*Stipa purpurea*)为主,盖度 5%~10%;莎草属牧草以小嵩草为优势种,地面老化死亡生物结皮盖度达 45%~75%;杂类草有火绒草、龙胆、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、兰石草,植被盖度 30%。紫花针茅退缩为丛径 3~5 cm 左右的斑块,盖度 3%~5%。而在山坡局部地段,可看到草甸草原的原始植被,紫花针茅高 10~15 cm,生殖枝正常发育,盖度 5%~7%。其严重退化地段发生在安多、那曲县城周围地区,其中滩地多处于小嵩草群落草毡表层加厚期,小嵩草斑块均发生老化死亡,形成黑斑,黑斑盖度占斑块的 45%,黑斑上未见裂缝、苔藓。但其山坡地段,草地草毡表层剥蚀强烈,占区域山坡面积的 45%~50%(表 2)。

2.2 不同分区高寒矮嵩草草甸的原生植被特征

三江源区及藏北高原是高寒草甸的重要分布区,草地超载放牧极为普遍,要寻求大面积的原生植被极为困难,只有在公路、网围栏建设形成的小块割裂地段、孤立小地形地段或用于进行科学研究的多年围封地段才可见到。而在祁连山区由于草地退化较轻,原生植被相对较好,同时它们仍受到不同放牧的干扰,故此本研究结果只能代表近似原生植被特征。

不同区域高寒嵩草草甸的原生植被均为两层结构,上层以禾本科为优势种群,下层以莎草属、杂类草植物为优势种群。在果洛州、祁连山区,垂穗披碱草、早熟禾为禾本科植物的优势种,而在玉树州及藏北高原其优势种为紫花针茅。香青、矮火绒草是高寒草甸演替到小嵩草时期的主要伴生种。杂类草阶段,香薷、细叶亚菊、棘豆、摩玲草,在 4 个分区中均可成为草地的优势种群。大尺度上,四区草地中其植被的种类组成、上层植物高度基本表现出了祁连山区>玉树地区>藏北高原>果洛地区的变化规律。

由于所能选择到的原生植被观测样地受干扰或封育年限不同,其植被总盖度,禾本科、莎草属、豆科和杂类草植物的相对比例没有比较的意义(表 2)。

值得一提的是在三江源和藏北高原,虽然大面积草甸地已经演替成为小嵩草为优势种群的高寒草甸,草甸内禾本科牧草极为罕见甚至消亡,但在局部人为干扰较轻地段,总能发现以禾本科、莎草属为代表的双层结构草地群落地段。而在祁连山区,在面积以禾本科、莎草属为代表的双层结构高寒草地地段,亦能发现以小嵩草为绝对优势,禾本科牧草已经消亡的草地地块。再次证明了青藏高原大面积小嵩草草甸的发生是高寒草甸地带性植被放牧干扰下的偏途演替结果^[19]。草地经过围封或退牧,均可恢复到以禾本科为优势种群的地带性植被,只是其恢复的过程所需时段长短与草地所处退化阶段有关。

2.3 放牧对草地生产力的影响

放牧干扰下,不仅高寒草甸的群落结构特征发生较大的改变,同时对其土壤性状和生产力产生了深刻的影响。对于植物地上部分,与原生或类似原生草甸相比,随着放牧干扰的增加,草甸植被总盖度和生物量会发生大幅度下降,其盖度降低了 27%~47%,生物量降低 33%~54%,统计检验其均达到了极显著性差异($P<0.01$)。其中变化最为剧烈的是可食性的禾本科和莎草属植物,随着草地放牧强度的加大,其盖度与生物量呈现降低趋势,分别由原生或类似原生草甸的(25.3±15.9)%、(75.6±48.9) g/m²和(36.5±18.7)%、(57.1±20.4) g/m²降低到退化草甸的(1.5±3.0)%、(7.8±9.8) g/m²和(7.8±3.3)%、(5.3±6.5) g/m²,且达到了显著性差异($P<0.05$)。而杂类草变化相对较小,由(23.5±6.1)%、(67.7±22.4) g/m²增加到(21.3±10.7)%、(77.3±49.6) g/m²,至草甸退化的顶极阶段杂类草—黑土型退化草地(祁连地区退化草地、果洛地区退化草地),草地基本以杂类草为绝对优势种群(表 2,图 2),但未达显著性水准。

高寒草甸退化过程中植物地下根系的变化比较复杂,从禾草—矮嵩草群落演替为莎草属植物群落,其光合产物地上地下分配比发生改变,植物根系会在土壤表层中进行累积,生物量显著增加,玉树地区退化草地 0~10 cm 土层中,根系现存量干重为(1 537.1±582.7) g/m²,当其演替到玉树地区退化草地阶段时,增加到(2 128.2±1 188.1) g/m²,达到显著水平($P<0.05$),而下层土壤根系现存量干重变化不大。当草甸进一步演替到杂类草—黑土型退化草地时,地下土壤植物根系量干重会发生大幅度下降。祁连地区正常草地 0~10,10~20 和 20~40 cm 土壤中其根系现存量干重分别为(603.6±319.8) g/m²、(173.1±176.0) g/m²和(54.1±28.8) g/m²,而

祁连地区退化草地土壤中其根系现存量干重分别为 $(50.0 \pm 39.3) \text{ g/m}^2$ 、 $(3.8 \pm 5.9) \text{ g/m}^2$ 和 $(1.9 \pm 3.6) \text{ g/m}^2$ ，均达到极显著水平($P < 0.01$) (图 3)。

2.4 放牧对草地土壤性状的影响

放牧不仅造成草地优势植物类群的更替，同时对草地土壤性状产生影响。超载放牧下，草地的退化，植物根系的减少，会造成土壤容重的增大，且表层土壤对放牧的敏感性高于底层，土壤 0~10、10~20 和 20~40 cm 容重分别增加了 $(0.50 \pm 0.08) \text{ g/m}^3$ 、 $(0.16 \pm 0.07) \text{ g/m}^3$ 和 $(0.04 \pm 0.03) \text{ g/m}^3$ 。统计检验表明祁连地区正常草地与祁连地区退化草地、果洛地区正常草地与果洛地区退化草地和祁连地区正常草地与玉树地区退化草地土壤层次之间差异均达极显著水平($P < 0.01$)。而玉树地区正常草地与玉树地区退化草地之间由于草地均处于草毡表层加厚期，没有表现出差异 (图 4)。

对于草地土壤有机质含量来说，小嵩草群落 > 禾草矮嵩草群落 > 杂类草—黑土型退化草地，超载放牧造成的草地退化，可导致土壤有机质含量的大幅降低，其降低幅度高达 19.3%~53.2%，除藏北地区外均达显著或极显著水平，但随着土层的加深，降幅趋于减小 (图 5)。

不同分区之间由于草甸所处演替状态、原生或类似原生草甸植被的差异，土壤性状差异比较意义不大。

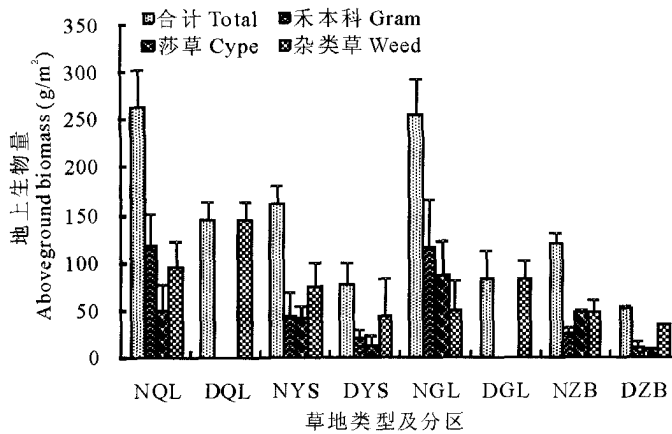


图 2 不同分区高寒草甸地上生物量
Fig. 2 Aboveground biomass of alpine meadow in different subregion

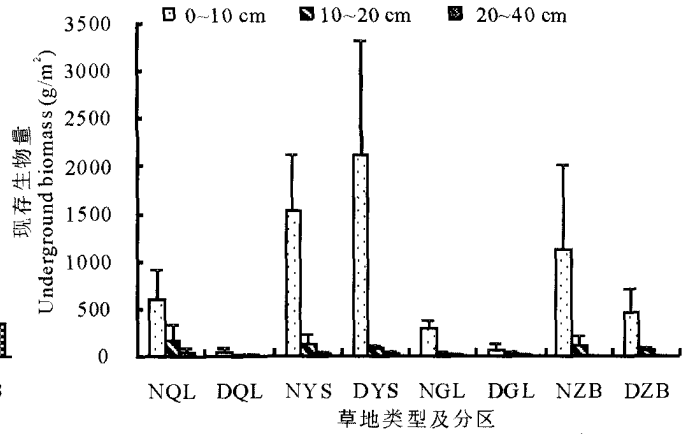


图 3 不同分区高寒草甸地下生物量
Fig. 3 Underground biomass of alpine meadow in different subregion

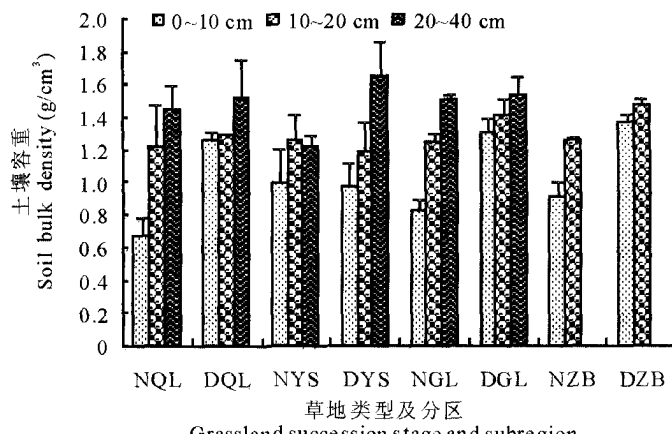


图 4 不同分区高寒草甸土壤容重
Fig. 4 Soil bulk density of alpine meadow in different subregion

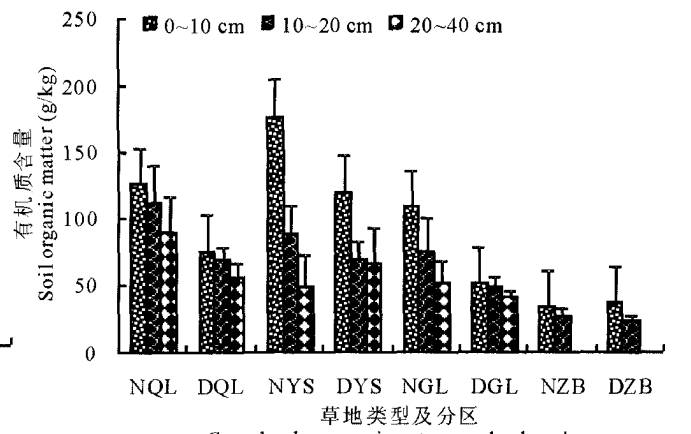


图 5 不同分区高寒草甸土壤有机质含量
Fig. 5 Soil organic matter contents of alpine meadow in different subregion

3 讨论

自 20 世纪 60~70 年代以来,高寒草甸逆向演替已进入了一个突变期。今天大面积高寒草甸的退化,究竟是由人为活动引起的还是气候变化引起的,或者它们的贡献率分别是多少,要得出一个明确的结论,十分困难。

气候温暖化对植被分布格局和演替产生重要的影响^[20-22]。自然植被系统在自然因素的“正常”条件下是相对稳定的,稳定的时限为 10^4 年尺度,但在失稳—振荡—突变时期,植被系统的变化速度将迅速加快,可达 10^2 年尺度,甚至为 10 年尺度^[23]。这种发生在大尺度的水平或垂直梯度上的植被带演替在高原草原带内比较明显,表现为高寒草原化草甸、高寒草甸化草原向高寒草原类型的演替上;而山体垂直带谱中,高寒灌丛带也的确表现出向山体上部发展的过程,但人为活动的影响明显高于气候变化。

20 世纪 90 年代开始的冰川退缩导致冰储量减小,致使西北地区冰川径流量增加 5.5% 以上^[24],但青藏高原外流区 5 条主要河流从 1956—2000 年河川径流量并没有随着全球气温的增加而增加^[25]。气候变暖,冰川融化速度加快,湿地、河流来水量应该增加,湿地面积应该在扩大,但事实却相反。近 50 a 来达日县降水年增加率为 0.557 mm/a,而该县最大可能蒸散量的年增加率为 0.132 mm/a,近 45 a 来,兴海地区温度呈显著的升高态势,降水量呈缓慢的增加趋势,但趋势不明显^[26,27]。气候总体趋势是由于干旱向湿润方向发生转变,对青藏高原植被来说,气候变化的影响总体是朝着有利于其生长的方向发展,气候不是造成其草地退化的主要成因。“三江源”草地产草量呈现 3~5 a 为周期的波动规律,以 1989、1994、1998、2002 和 2005 年出现峰值,特别是 2005 年,产草量最高^[28]。这在三江源区“黑土滩”退化草地地段的杂类草盖度、生物量、高度等方面反映非常明显,而放牧草地地段由于人为活动的干扰,其逆转效果不明显。

脆弱的生态环境是高寒草甸退化的自然内动力,人为干扰和不合理利用是草地退化的主要驱动力^[29];放牧强度和制度引起的植物多样性和不同种类的丰富度变化对草地群落稳定性和生态系统功能有重要的影响^[30]。食草动物干扰,常常给生态系统造成灾难性的不可逆转的改变,物种丢失,土壤生物化学循环改变^[31]。人类活动的干扰造成高寒草地的退化,导致地表下垫面的改变,造成区域水热循环过程的失衡,加速了草地的退化演替进程。从不同类型高寒嵩草草甸退化的现状来看,高寒湿地生态系统的退化无疑是由水分补充不足引起的,但水分不足不一定是降水量的减少,草地退化造成水分在土体深层渗漏量的增加和草地蒸散量的加大,多年冻土退化使赋存于高寒草地和维系高寒草地生长发育的多年冻土表部的冻结层地下水位持续下降或消失^[32,33],造成土壤水库容量的增大和区域有效水源补给的降低。人类活动加剧引起草地退化,加剧了区域环境的暖干化效应。

高寒草地分布区气候寒冷、生态环境恶劣,高寒草地对气候变化和人类活动的干扰极为敏感。然而由于草地类型和其所处的地理位置不同,不同类型高寒草地对气候变化和人类活动干扰响应的过程亦不同^[33,34],而导致不同分区高寒草地退化特征分异。生产中进行高寒草地的分区管理,采取适应的措施,才可逆转高寒草地的退化进程,实现高寒草地的可持续利用。对于果洛地区,草地退化强烈,大面积杂类草黑土型退化草地的存在,以人工恢复重建为主要手段,是该区草地管理的首选措施^[35]。而对于玉树及藏北高原,草地多处于小嵩草群落草毡表层加厚期或矮嵩草—小嵩草群落镶嵌分布时期,应采取轮牧或围封技术措施^[36,37]。而祁连山区,随自然草地生长较为良好,但局部地区草地亦呈现出退化迹象,应采取降低放牧强度或轮牧管理方式^[37]。但其恢复年限,与草地退化的程度有关。

参考文献:

- [1] Xu L L, Zhang X Z, Shi P L, *et al.* Establishment of apparent quantum yield and maximum ecosystem assimilation on Tibetan Plateau alpine meadow ecosystem[J]. *Sciences in China Series D*, 2005, 48: 141-147.
- [2] Ni J. Carbon storage in grasslands of China[J]. *Journal of Arid Environment*, 2002, 50: 205-218.
- [3] 刘敏超,李迪强,栾晓峰,等.三江源地区生态系统服务功能与价值评估[J]. *植物资源与环境学报*, 2005, 14(1): 40-43.
- [4] 龙晶.三江源区位置面积及景观生态遥感研究[J]. *林业资源管理*, 2005, 4: 30-34.
- [5] 汪诗平.青海省“三江源”地区植被退化原因及其保护策略[J]. *草业学报*, 2003, 12(6): 1-9.
- [6] 蔡晓布,张永青,邵伟.藏北高寒草原草地退化及其驱动力分析[J]. *土壤*, 2007, 39(6): 855-858.

- [7] 王谋, 李勇, 潘胜, 等. 气候变化对青藏高原腹地可持续发展的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(3): 92-95.
- [8] Zhou H K, Zhao X Q, Tang Y H, *et al.* Alpine grassland degradation and its control in the source region of Yangtze and Yellow Rivers, China[J]. *Grassland Science*, 2005, 51: 191-203.
- [9] 薛艳庆. 囊谦县“黑土滩”退化草地现状及治理对策[J]. 草业与畜牧, 2007, (8): 56-57.
- [10] 尚占环, 龙瑞军. 青藏高原“黑土型”退化草地成因与恢复[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 652-656.
- [11] 曹文炳, 万力, 曾亦键, 等. 气候变暖对黄河源区生态环境的影响[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 40-47.
- [12] 张森琦, 王永贵, 赵永真, 等. 黄河源区多年冻土退化及其环境反映[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 1-6.
- [13] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 青藏高原高寒嵩草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 31-40.
- [14] 张永超, 牛得草, 韩潼, 等. 补播对高寒草甸生产力和植物多样性的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 305-309.
- [15] 苗福泓, 郭雅婧, 缪鹏飞, 等. 青藏高原东北边缘地区高寒草甸群落特征对封育的响应[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 11-16.
- [16] 戚登臣, 陈文业, 刘振恒, 等. 黄河首曲一玛曲县高寒草甸沙化演替进程中群落结构及种群生态位特征[J]. 西北植物学报, 2011, 31(12): 2522-2531.
- [17] 付刚, 周宇庭, 沈振西, 等. 藏北高原高寒草甸地上生物量与气候因子的关系[J]. 中国草地学报, 2011, 33(4): 31-36.
- [18] 曹广民, 杜岩功, 梁东营, 等. 高寒嵩草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 641-648.
- [19] 李以康, 林丽, 张法伟, 等. 小嵩草群落—高寒草甸地带性植被放牧压力下的偏途顶极群落[J]. 山地学报, 2010, 28(3): 257-265.
- [20] 张国盛, 李林, 汪青春. 青南高原气候变化及其对高寒草甸牧草生长的影响研究[J]. 草业学报, 1999, 8(3): 1-10.
- [21] Moline M A, Claustre H, Frazer T K, *et al.* Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend[J]. *Global Change Biology*, 2004, (10): 1973-1980.
- [22] Marchand F L, Mertens S, Kockelbergh F, *et al.* Performance of High Arctic tundra plants improved during but deteriorated after exposure to a simulated extreme temperature event[J]. *Global Change Biology*, 2005, (11): 2078-2089.
- [23] 安芷生. 关于全球变化研究的几个问题[J]. 第四纪研究, 1990, 3(1): 64-67.
- [24] 姚檀栋, 刘时银, 蒲健辰, 等. 高亚洲冰川的近期退缩及其对西北水资源的影响[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(6): 535-543.
- [25] 曹建廷, 秦大河, 康尔泗, 等. 青藏高原外流区主要河流的径流变化[J]. 科学通报, 2005, 50(21): 2403-2408.
- [26] 张晓云, 李加洛, 钟元龙, 等. 兴海县近 45a 气候变化特征分析[J]. 青海气象, 2008, (1): 10-17.
- [27] 王军德. 黄河源区典型草地水文循环研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2006.
- [28] 刘纪远, 岳天祥, 鞠洪波. 中国西部生态系统综合评估[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [29] 龙瑞军, 董世奎, 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.
- [30] Hickman K R, Hartnett D C. Grazing management effects on plant species diversity in tallgrass prairie[J]. *Journal of Range Management*, 2004, 57(1): 58-65.
- [31] Buckeridge K M, Jefferies R L. Vegetation loss alters soil nitrogen dynamics in an Arctic salt marsh[J]. *Journal of Ecology* 2007, 95(2): 283-293.
- [32] 武建双, 李晓佳, 沈振西, 等. 藏北高寒草地样带物种多样性沿降水梯度的分布格局[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 17-25.
- [33] 陈生云, 赵林, 秦大河, 等. 青藏高原多年冻土区高寒草地生物量与环境因子关系的初步分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32(2): 405-413.
- [34] 马玉寿, 郎百宁, 李青云, 等. 江河源区高寒草甸退化草地恢复与重建技术研究[J]. 草业科学, 2002, 19(9): 1-5.
- [35] 赵景学, 祁彪, 多吉顿珠, 等. 短期围栏封育对藏北 3 类退化高寒草地群落特征的影响[J]. 草业科学, 2012, 28(01): 59-62.
- [36] 曹广民, 龙瑞军. 三江源区“黑土滩”型退化草地自然恢复的瓶颈及解决途径[J]. 草地学报, 2009, 17(1): 4-9.
- [37] 曹广民, 龙瑞军. 放牧高寒嵩草甸的稳定性及自我维持机制[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 553-559.

Regional characteristics of the alpine meadow degradation succession on the Qinghai—Tibetan PlateauWANG Jian-bing^{1,2}, ZHANG De-gang¹, CAO Guang-min³, TIAN Qing¹

(1. Pratacultural College of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Academy of Social Sciences, Lanzhou 730070, China; 3. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract: The degradation succession characteristics of alpine meadow on Qinghai—Tibetan Plateau were studied comprehensively from 2005 to 2012. The results indicated that the typical zonal vegetation on Qinghai—Tibetan Plateau was Gramineae and *Kobresia humilis* community. The degraded grassland in Guoluo of Qinghai Province was characterized with large-scale erosion of mastic epipedon in *Kobresia pygmaea* community and forbs-black soil. It was at the stage of succession from *K. humilis* to *K. pygmaea* community in Yushu of Qinghai Province. The alpine meadow successions from *K. humilis* to *K. pygmaea* community, or it remains the normal *K. pygmaea* community in the north part of Tibetan Plateau. The reduced excellent edible forage of Gramineae and Cyperaceae, and the increased forbs coverage were the main characteristic of alpine meadow degradation. Meanwhile, this degradation caused the increased soil compaction and the topsoil was more sensitive. The bulk densities of different layers in 0 to 10 cm, 10 to 20 cm and 20 to 40 cm were increased by $(0.50 \pm 0.08) \text{ g/m}^3$, $(0.16 \pm 0.07) \text{ g/m}^3$ and $(0.04 \pm 0.03) \text{ g/m}^3$ respectively. Meanwhile, The soil organic matter content was greatly reduced by 19.3% to 53.2% and the reduction slowed down with the soil depth.

Key words: alpine meadow; degraded succession; vegetation feature; soil properties