

三江源退化高寒草甸草毡表层剥蚀 过程及发生机理的初步研究

梁东营^{1,2}, 林丽¹, 李以康¹, 王溪¹, 曹广民^{1*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 草毡表层是高寒草甸系统分类的诊断层, 是高寒草甸稳定性维持的物质基础, 而草毡表层剥蚀是三江源区退化高寒草甸的主要表现特征之一。2008年8月, 通过对高寒草甸退化状况进行的野外调查发现, 退化高寒草甸具有2种不同的剥蚀过程, 其发生的动力也不同。其中, 位于山间滩地和缓坡地段的高寒草甸, 其土壤剥蚀呈现草毡表层极度加厚、老化、死亡、开裂、剥蚀过程, 其发生动力是鼠类的挖掘与冻融交替作用, 剥蚀发生时地表草皮处于死亡或半死亡状态; 而处于陡坡地段退化高寒草甸的剥蚀由于植被的不同, 呈现水分对草皮下土壤的潜蚀、倒钩蚀, 发生草皮悬空、坍塌, 其剥蚀动力为水分冲蚀和重力作用, 剥蚀时草毡表层牧草生长良好。放牧压力下高寒草甸草毡表层的加厚是造成其土壤发生剥蚀的主要原因。

关键词: 三江源; 高寒草甸; 草毡表层; 剥蚀

中图分类号: S812.5

文献标识码: A

文章编号: 1007-0435(2010)01-0031-06

Process and Mechanism of Mattic Epipedon Denudation Taking place on Degraded Alpine Meadows in the Three River Source Region

LIANG Dong-ying^{1,2}, LIN li¹, LI Yi-kang¹, WANG Xi¹, CAO Guang-min¹

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810001, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Mattic Epipedon (ME) is a diagnostic layer for alpine meadow taxonomy and the foundational material for maintenance of alpine meadow ecosystem stability. The denudation of ME is one of the main characteristics of alpine meadow degradation in the Three Rivers Source Region. In August 2008, field survey on alpine meadow degradation was conducted and two types of denudation process with different driving mechanisms were found. For the grassland located in mountain bottomlands and gentle sloping field, the ME showed gradually thickening, aging, death, cracking, erosion and the driving force was the effects of excavation by murine and alternate action of freezing-thawing. However, for the grassland located on steep slopes, ME denudation appeared as suffosion erosion and barb erosion below ME, suspending and collapse of ME, and the grass grew well on ME with the driving force from water erosion and gravity action. The main reason for ME denudation could be the extreme thickening under grazing pressure on alpine meadow in the Three Rivers Source Region.

Key words: Three River Source Region; Alpine meadow; Mattic Epipedon; Denudation

“三江源”系指长江、黄河、澜沧江三条江河的源头地区, 三江源区河流密布, 湖泊、沼泽众多, 雪山冰川广布, 是世界上海拔最高、面积最大、湿地类型最丰富的地区, 素有“中华水塔”之美誉, 是保障整个三江流域中下游地区乃至东南亚国家水安全极为重

要的生态功能区^[1]。

三江源区之高寒性、敏感性和脆弱性造成了世界性的生态系统修复、维系与管理难题。自上个世纪六十年代以来, 在气候变化、人类活动干扰增加的双重压力下, 三江源地区草地大面积退化, 生态环境

收稿日期: 2009-05-21; 修回日期: 2009-06-23

基金项目: 国家自然科学基金重点基金(30730069)、世界银行全球环境基金(GEF052456-CHA-GS-Y-4)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q1-06)资助

作者简介: 梁东营(1985-), 女, 山东禹城人, 硕士研究生, 研究方向为草地生态学, E-mail: dongyingl@163.com; * 通讯作者 Author for correspondence; E-mail: caogm@nwipb.ac.cn

不断恶化。截止到 2007 年,三江源地区 90% 以上的草地出现了不同程度的退化。其中,中度以上的退化草地为 $1247.83 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 约占该区草地可利用面积的 60% 以上^[2~5]。退化草地为啮齿动物提供了充足的食物资源和良好的栖息环境,导致草地鼠害频繁发生。退化草地在丧失其生态功能的同时,也逐渐失去了牧业生产利用的价值^[6]。极度退化高寒草甸主要表现为两种类型,“黑土型”退化草地和剥蚀型退化草地^[7]。目前有关退化高寒草甸的文献主要涉及了“黑土型”退化草地的成因与表观特征的研究^[8~10],而对于退化高寒草甸的剥蚀过程与机理尚未见文献报道。本研究通过考察试图阐明高寒草甸退化剥蚀过程与发生机理。为控制高寒草甸的退化,进行三江源生态环境的综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

野外调查点分别设置于三江源腹地的青海省果洛州玛沁县、达日县、玛多县;玉树州玉树县。三江源区草原辽阔,地理位置特殊,总面积为 $3.63 \times 10^5 \text{ km}^2$, 约占青海省总面积的 50.4%。地理位置为东经 $89^\circ 45' - 102^\circ 23'$, 北纬 $31^\circ 39' - 36^\circ 12'$ 之间。平均海拔约 3700—4200 m。由于地处青藏高原腹地,海拔高而空气稀薄,全年平均气温一般在 $-5.6 - 3.8^\circ \text{C}$ 之间,极端最低气温 -48°C , 极端最高气温 28°C 。年平均降水量在 262.2—772.8 mm 之间,多集中在 5—9 月份,雨热同季,有利于牧草生长。年蒸发量相对较大,一般在 730—1700 mm 之间^[9]。草地类型主要以高寒草甸类和高寒草原类为主,分别占本区草地的 81.3% 和 20.83%^[11]。区内地势险峻,地形复杂,遍布冰川、戈壁、湖泊、沼泽、荒漠、湿地等各种地貌^[12]。

退化草地剥蚀类型分为 2 类,包括:

缓坡—滩地型:分布于山间滩地和低缓坡地,表观景象为剥蚀坑和残余草皮镶嵌分布,剥蚀坑面积占总草皮的 30% 左右,残余草皮斑块四周植被死亡形成黑斑和秃斑,部分黑斑上发育白色或黄色菌斑,极为坚硬;中间部位为小嵩草草甸,植物处于半死亡状态,优势种为小嵩草 (*Kobresia pygmaea* Clarke), 亚优势种和伴生种为细叶亚菊 (*Ajanian tenuifolia* (Jacq.) Tzvel.), 棱子芹 (*Pleurospermum camtschaticum* Hoffm.), 西藏忍冬 (*Lonicera*

tibetica Bur. et Franch.) 等;塌陷草皮上以摩铃草 (*Morina chinensis* (Bat.) Diels)、铁棒槌 (*Aconitum szechenyianum* Gay.) 和白苞筋骨草 (*Ajuga lupuliua* Maxim.) 等杂类草为优势;残余草皮斑块基部四周,有大量鼠洞,但鼠类活动罕见。

陡坡型:分布于山地陡峭地段,表观景象为草皮整体坍塌滑落,斑块体积与重量差异极大,塌陷斑块上植物生长良好,剥蚀地段土壤含水量高,处于饱和状态。这种剥蚀又分为灌木型陡坡和嵩草型陡坡两种类型。灌木型陡坡优势种为金露梅 (*Potentilla fruticosa* L.) 和高山柳 (*Salix cupularis* Rehd.), 盖度 55%; 丛间草地优势种为莎草科植物包括苔草 (*Carex tristachya* Thunb.) 和矮嵩草 (*Kobresia humilis* (C. A. Mey) Serg.), 盖度为 76%, 塌陷地段上方多见小的秃斑块。嵩草型陡坡优势种为小嵩草,盖度 83%, 塌陷地段上方多见鼠洞。

1.2 研究方法 with 数据处理

斑块体积与重量:采用钢卷尺随机对残留或坍塌斑块体积进行测定,同期测定该斑块容重和饱和含水量并推算其重量,6 次重复;

植被和地表状况调查:采用样带法,样带长 25 m,每隔 5 m 设置一个样方,样方面积 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$,记录优势植物种类、盖度、地表情况等,3 次重复;

鼠洞的个数:实测有效鼠洞和废弃鼠洞,6 次重复;

容重与持水量测定:容重采用环刀法,室内进行饱和持水量测定,各重复 3 次;

采用 Excel 2003 和 SPSS 11.6 软件进行数据处理、数理统计与数据分析。

2 结果与分析

2.1 缓坡—滩地型剥蚀

缓坡—滩地剥蚀主要发生在坡度小于 5° 的低山坡或者山间滩地上,草地均为小嵩草群落。其剥蚀过程为草毡层极度加厚—草毡层老化继而死亡—草毡层开裂—鼠类挖掘加剧—草毡层剥蚀。剥蚀动力为鼠类挖掘、冻融交替交合作用。

长期超载放牧,加剧了草地退化,处于高寒小嵩草群落阶段的草地,在其牧草高地下/地上比的特殊生物学特性下,草毡表层极度加厚,由于养分供求失调与生理干旱导致草毡表层死亡^[13],它未能造成草毡表层的剥蚀,却是草毡表层剥蚀的前提。研究表明正常小嵩草群落阶段草毡表层的厚度为 3.0—

3.8 cm, 当其厚度达到 4.2 cm 时, 草毡表层开始发生开裂, 牧草处于死亡或半死亡状态。草毡表层的死亡, 根系弹性的丧失, 在冻融交替作用下, 形成裂缝将草地分为不同大小的斑块, 在两裂缝交叉的三角地带, 往往成为鼠类挖掘的切入点(图 1)。由于老化草地对水分的阻隔, 降水灌入这些裂隙, 使得其下层土壤因水分丰富而疏松, 加之春秋季节昼融夜冻交替, 使这些斑块被反复抬升, 发生撕裂, 与其下层和周围土壤剥离, 进而发生剥蚀。以优云乡样地为例, 草皮层厚度高达 14.50 ± 1.34 cm, 残余草皮斑块的面积为 0.88 ± 0.22 m², 塌陷裂缝的宽度为 8.0 ± 2.78 cm, 鼠洞的密度为 1.32 ± 0.14 个/m²(表 1)。

2.2 坡地型剥蚀

坡地型剥蚀可以分为水分潜蚀-重力剥蚀、水分倒钩蚀-重力剥蚀两类。它与滩地缓坡剥蚀主要的区别在于, 此种剥蚀类型发生地段具有较大的坡度, 剥蚀掉落的草皮层上的植被生长良好, 仅有小面积草皮层发生死亡和形成秃、黑斑。

2.2.1 水分潜蚀-重力剥蚀 此类剥蚀主要出现在

坡度为 25°左右的坡地上, 草地处于小嵩草群落阶段, 其剥蚀呈现小嵩草极度发育—草毡层加厚—鼠类挖掘—雨水灌入—土壤潜蚀—草毡层撕裂、滑脱、剥蚀的生态过程(图 2)。剥蚀动力为鼠类挖掘和雨水灌入的耦合作用。

在过度放牧作用下, 小嵩草极度发育, 草毡表层加厚, 厚度达 21 ± 2.45 cm。在坡地的上方, 由于药材挖掘或鼠类活动形成许多洞穴, 降水或积雪融水, 沿此洞穴灌入, 草毡表层下部土壤发生潜蚀^[14], 使得草毡表层发生悬空, 在重力作用下, 原生草皮出现撕裂、坍塌, 并沿山坡滑落。土壤的冻融交替作用对草毡表层的剥蚀起到了推波助澜的作用, 以位于青海省窝赛乡西山观测点为例, 在该样点东北山坡上, 已有一面积 $9 \text{ m} \times 9.17 \text{ m}$ 的草毡表层板块与母体草皮层发生撕裂, 即将发生剥蚀, 草毡表层下土壤潜蚀掏空深度达 23 ± 4.77 cm, 裂缝宽度达 7.67 ± 1.32 cm(图 3)。斑块上鼠洞共计 44 个, 密度为 0.54 个/m², 均为有效鼠洞。剥蚀脱落草毡表层滑落到山坡下部的斑块面积平均为 0.45 ± 0.17 m², 厚度为 18.75 ± 4 cm, 黑斑的面积约 17%(图 4), 没



图 1 缓坡—滩地型剥蚀下的两裂缝交叉点

Fig. 1 Junction of two cracks of gentle slope-bottomland

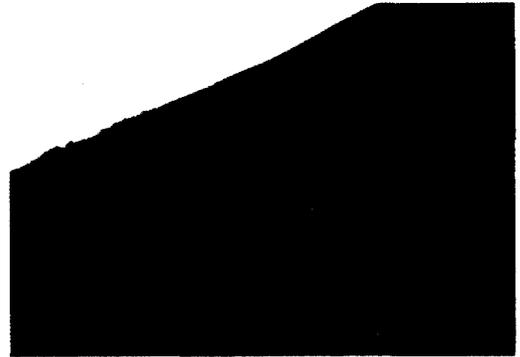


图 2 水分倒钩蚀-重力剥蚀滑落斑块

Fig. 2 Patches of barb-gravitational erosion



图 3 水分潜蚀-重力剥蚀悬空斑块

Fig. 3 Suspending patches of suffusion-gravitational erosion



图 4 水分潜蚀-重力剥蚀滑落斑块

Fig. 4 Patches of suffusion-gravitational erosion

有秃斑出现(表 2)。剥蚀斑块上的植被以小嵩草为主,植被依然存活。07 年考察时发现的一面积为 $27.5\text{ m} \times 24\text{ m}$ 、厚度为 $19 \pm 1.98\text{ cm}$ 的草皮表层斑块,下部土壤已经发生潜蚀,08 年调查时,已经脱落剥蚀。

2.2.2 水分倒钩蚀-重力剥蚀 这种剥蚀主要发生在以灌木植被为主、坡度为 30° 左右的山坡上。其剥蚀的生态过程为:雨水、山坡径流水对土壤的倒钩蚀—草皮悬空—草皮层开裂—草皮层滑落过程。发生此类剥蚀的动力为雨水倒钩蚀和重力作用。其剥蚀处多有公路建设时形成的取土断面。在雨季,当降雨量较大或山坡径流较大时,雨水沿山坡直泻而下,对断面处草皮层下土壤冲蚀较小。然而当降水较小或土壤处于冻融交替阶段,雨水或径流水就会对断面处草皮层下土壤发生倒钩蚀,逐渐造成草皮层悬空,这类土壤草皮层经常处于水分饱和状态,在重力作用下,就会发生滑脱剥蚀。这种剥蚀主要发生在灌丛植被的丛间草地上,植被以矮嵩草、小嵩草和苔草为主。以处于果洛州达日县满掌山顶观测点为例,草皮层下钩蚀深度平均深度为 $42.75 \pm 12.37\text{ cm}$,剥蚀草皮层的厚度为 $18.37 \pm 3.5\text{ cm}$,滑脱草毡表层斑块面积为 $0.39 \pm 0.13\text{ m}^2$ 。调查过程中同时发现有 3 处平均面积为 $0.62 \pm 0.22\text{ m}^2$ 的草皮层与原土体之间形成了 $5.87 \pm 2.73\text{ cm}$ 的裂缝(表 3)。

在草皮层断裂面上,反复进行着雨水倒钩蚀—土壤被冲刷—草皮层开裂—草毡层剥落—雨水倒钩蚀循环,造成大面积的山坡草地剥蚀退化。

3 讨论

3.1 剥蚀与气候变化

有研究表明,三江源高寒草甸的退化是由于气候变暖造成的,其理由是三江源区陡坡地段很少甚至没有放牧,但仍出现了相当程度的退化^[15],退化的主要特征之一就是大面积山坡草地的剥蚀。

从本研究三江源草地退化过程与机理来看,该区草地的退化主要是由于人类活动干扰-超载放牧所致,气候变化对高寒草甸的影响是缓慢的,高寒草甸对气候变化具有较高的稳定性^[16]。家畜的选择性采食和践踏造成高寒草甸禾本科牧草生长、繁殖受阻,高寒小嵩草逐渐演变成成为草地的优势群落。小嵩草植物特殊的生物学特性(高地下/地上比),使得土壤表层形成了坚韧的草毡表层^[17],超载放牧可导致草毡表层的极度发育。加厚草毡表层一方面由

于其表层的致密性,对降水的人渗造成阻滞,另一方面又由于细密根系对水分的吸附具有强大的蓄水性能^[18]。处于山坡地段的极度发育草毡表层,由于山体径流水分的持续供给,该层水分常常处于饱和状态,使得其重力大幅度增加,造成了草皮层与母体之间的撕裂、脱落与剥蚀。室内测定表明,陡坡上剥蚀草皮层的厚度为 $18.37 \pm 3.5\text{ cm}$,草皮层的饱和含水量为 55.40% ,草皮层的容重为 $0.92 \pm 0.07\text{ g/cm}^3$,滑脱斑块干重平均为 65.91 kg ,水分饱和时斑块重量可达 102.42 kg ;而原生草皮层的厚度为 $4.03 \pm 0.49\text{ cm}$,土壤容重为 $0.75 \pm 0.05\text{ g/cm}^3$,相同斑块面积下,充水草毡表层的重量是原生斑块的 8.69 倍。山坡草地剥蚀的加剧是否由于近几十年降水量的增加尚需作进一步的研究。

3.2 草地剥蚀与生态安全

高寒草甸的退化剥蚀,造成草地生态服务功能的降低,主要表现在水土流失和碳贮容量的降低。

三江源高寒草甸的剥蚀过程中,随着草毡表层的剥蚀,破坏了土壤—植被生态系统的平衡,大量的土壤被冲刷。青海全省水土流失总面积达 33.4 万 km^2 ,占全省土地总面积的 46.24% ,其中长江流域水土流失面积 10.7 万 km^2 ,黄河流域 7.3 万 km^2 ;每年输入黄河的泥沙量达 8814 万吨,输入长江的达 1232 万吨。近年来,全省每年新增水土流失面积 0.21 万 km^2 ,且呈加剧趋势^[19~20]。表层土壤的流失,造成植被生长与恢复的困难,发生草地剥蚀—水土流失—植被稀疏—草地剥蚀的恶性循环,引起生态系统的退化。同时导致高寒生物物种资源的濒危与灭绝,对我国乃至全球的环境产生不利的影响^[21,22]。

高寒草甸分布地区气候寒冷,有利于土壤有机物质的积累,土壤中积累了大量的土壤有机物质,是地球系统碳的重要储蓄库^[23]。处于小嵩草阶段的高寒草甸,草毡表层土壤有机质含量高达 $8\% - 12\%$,牧草根系的含碳量为 $38\% - 40\%$,草毡表层中土草体积比为 $1.2 - 1.5$ ^[24]。随着草皮层的加厚,高寒草甸系统碳的储存量会逐渐增加。然而,当草毡表层发生剥蚀后,天然草地嵌块数增加而面积减少,破碎化程度呈缓慢增加趋势^[25~26],土壤有机质含量急剧下降,土壤养分状况明显恶化^[27]。据测定,轻度鼠害地段每公顷损失腐殖质 7122 kg ;中度危害地段,每公顷损失腐殖质 21366 kg ;重度地段,每 hm^2 损失腐殖质达 40358 kg ^[28]。在高寒草甸退化

表 1 缓坡—滩地型样地概况

Table 1 Basic condition of gentle slope-bottomland plots

地点 Location	经纬度 Latitude and Longitude	海拔(m) Elevation	草皮层厚度(cm) ThicWkness of mattic epipedon	鼠洞密度(个/m ²) Density of mousehole	斑块面积(m ²) Area of platue
果洛州大武河对岸 Opposite bank of Dawu river in Guoluo state	N34°28.026', E100°12.282'	3752	13.51±0.39 ^A	1.21±0.11 ^B	0.99±0.14 ^A
玉树州清水河镇北 10 km 10 km north of Qingshui river in Yushu state	N33°51.210', E97°11.773'	4449	12.12±0.44 ^A	0.90±0.08 ^C	0.88±0.22 ^A
果洛州优云乡北 10 km 10 km north of Youyun village in Guoluo state	N34°21.435', E99°11.798'	4269	14.50±1.34 ^A	1.5±0.14 ^A	0.74±0.18 ^B
果洛州满掌山北 3 km 3 km north of Manzhang mountain in Guoluo state	N33°22.723', E100°14.324'	4302	13.88±0.88 ^A	1.18±0.24 ^B	0.78±0.26 ^B

注:表中数据为平均值±标准误差;同行不同大写字母表示差异显著(P<0.05);下同

Note: Data are average±standard error; means with different capital letters in the same row are significantly different at the 0.01 level; same as follows

表 2 陡坡剥蚀的地表特征

Table 2 Denudation characteristics of steep slopes

地点 Location	开裂斑块 Disintegrating plaque				剥蚀斑块 Denuded plaque						
	纵向 Portrait orientation	横向 Landscape orientation	厚度 (cm) Thickness	掏空深度 Depth of undercut	鼠洞(个) Mousehole	裂缝宽(cm) Wide of crack	长度 Length	宽(cm) Wide	厚度 Thickness	斑块面积 Area of plaque	剥蚀面积 Area of killo
果洛州达日县窝寨乡 Wosai village, Dari County, Guoluo state	9 ^A	9.17 ^A	21±2.45 ^A	23±4.77 ^B	44	7.67±1.32 ^A	83.25±25 ^A	52.75±18 ^A	18.75±4 ^A	0.45±0.17 ^A	17.00±3.15
果洛州达日县满掌乡 Manzhang village, Dari County, Guoluo state	0.64±0.12 ^B	0.97±0.22 ^B	19±1.97 ^A	42.75±12.37 ^A	—	5.87±2.73 ^B	74±43.54 ^B	52.5±27.7 ^A	18.37±3.5 ^A	0.39±0.13 ^B	—

表 3 剥蚀斑块和未剥蚀草地性状特征比较

Table 3 Characteristic comparison of denuded grassland vs. primary grassland

草地类型 Type of soil	草皮层厚度(cm) Thickness of ME	剥蚀斑块面积(m ²) Area of denuded plaque	土壤容重(g/cm ³) Bulk density of soil	土壤饱和含水量(%) Saturated moisture content	同等面积斑块重量(kg) Weight of plaque with equal area
剥蚀草地 Denuded grassland	18.37±3.5 ^A (n=15)	0.39±0.13 (n=15)	0.92±0.07 ^A (n=3)	55.40±3.70 ^A (n=3)	65.91 ^A
原生草地 Primary grassland	4.03±0.49 ^B (n=10)	—	0.75±0.05 ^B (n=3)	47.80±2.53 ^B (n=6)	11.79 ^B

中,系统碳贮量经历了一个先升高后急剧下降的过程。原生植被封育处理每平方米土壤平均碳含量为 7.47 kg,而重度退化地碳含量仅为 3.67 kg,由于土地退化而造成的土壤(0—20 cm层)碳丢失量为 3.80 kg·m⁻²,即高寒草甸土地退化导致 0—20 cm 土壤层 50.87%的有机碳流失^[29],生态系统可能成为大气 CO₂的源^[30]。至于草地退化到什么程度才由原来的汇转化成源还未有具体的研究。同时草地退化造成下垫面的改变,使得土表对太阳辐射的增强,加大了气候变暖的趋势。

4 结论:

三江源区退化高寒草甸具有 3 种不同的剥蚀过程,其发生的动力也不同。其中,位于山间滩地和缓坡地段的高寒草甸,其土壤剥蚀呈现草毡表层极度加厚、老化、死亡、开裂、剥蚀过程,其发生动力是鼠类的挖掘与冻融交替作用,剥蚀发生时地表草皮处于死亡或半死亡状态;而处于陡坡地段退化高寒草甸的剥蚀由于植被的不同,呈现水分对草皮下土壤的潜蚀、倒钩蚀,发生草皮悬空、坍塌,其剥蚀动力为水分冲蚀和重力作用,剥蚀时草毡表层牧草生长良好。放牧压力下高寒草甸草毡表层的极度加厚是造成其土壤发生剥蚀的主要原因。

参考文献

- [1] 韩永荣,韩晓红.论三江源区水生态安全问题及其对策[J].城市与减灾,2008,(1):2-5
- [2] 马洪波.三江源地区生态退化的新制度经济学解释[J].西藏研究,2007,(5):88-96
- [3] 景晖,续建龙,顾延生.三江源草场生态恶化原因新解[J].生态环境,2006,15(5):1042-1045
- [4] 李穗英,刘峰贵,马玉成,等.三江源地区草地退化现状及原因探讨[J].青海农林科技,2007,(4):29-32
- [5] 李博.中国北方草地退化及其防治对策[J].中国农业科学,1997,30(6):1-9
- [6] 王启基,米德珍,景增春,等.三江源区资源与生态环境现状及可持续发展[J].兰州大学学报,2005,41(4):50-55
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 陈国明.三江源地区“黑土滩”退化草地现状及治理对策[J].四川草原,2005,(10):37-39
- [10] 刘晓玲.三江源自然保护区“黑土滩”退化草地调查[J].青海师范大学学报,2007(1):93-96
- [11] 马宏义.三江源草地生态环境现状及可持续发展对策,青海畜牧兽医杂志 2005,35(5):40-41
- [12] 王根绪,程国栋.江河源区的草地资源特征与草地生态变化[J].中国沙漠,2001,21(2):101-107
- [13] 曹广民,杜岩功,梁东营,等.高寒嵩草草甸的被动与主动退化分异特征及其发生机理[J].2007,25(6):641-648
- [14] 杜正,吴光明,洪亮.潜蚀作用导致岩溶塌陷地质灾害的实例分析[J].水文地质工程地质,2007,(3):89-92
- [15] 张国胜,李希来,李林,等.青南高寒草甸秃斑地形成的气象条件分析[J].中国草地.1998,(6):12-16,24
- [16] 周华坤,周立,赵新全,等.青藏高原高寒草甸生态系统稳定性研究[J].科学通报,2006,51(1):63-69
- [17] 曹广民,龙瑞军.放牧高寒嵩草草甸的稳定性及自我维持机制[J].中国农业气象.2009(已接收)
- [18] 曹广民,李英年,鲍新奎.高寒地区寒冻锥形土的持水特性[J].土壤,1998,(1):27-31
- [19] 文香,吴阿迪.试论青海发展草地生态畜牧业的意义和措施[J].青海草业,2002,11(1):16-18
- [20] 刁治民,张文静.青海水土流失与可持续发展的研究[J].青海草业,2002,11(4):24-27
- [21] 王堃,洪绶曾,宗锦耀.“三江源”地区草地资源现状及持续利用途径[J].草地学报,2005,13:增刊 28-31
- [22] 尚占环,龙瑞军,马玉寿.青藏高原江河源区生态环境安全问题分析与探讨[J].草业科学,2007,24(3):1-7
- [23] 张金霞,曹广民,周党卫,等.高寒矮嵩草草甸大气—土壤—植被—动物系统碳素储量及碳素循环[J].生态学报,2003,23(4):627-634
- [24] 龚子同,雷文进,高以信,等.中国土壤系统分类新论[M].北京:科学出版社,1994,302-309
- [25] 董立新,王文科,孔金玲,等.黄河上游玛多县生态环境变化遥感监测及成因分析[J].水土保持通报,2005,25(4):68-72
- [26] 黄桂林.青海三江源区湿地状况及保护对策[J].林业资源管理.2005,8(4):35-39
- [27] 林超峰,陈占全,薛泉宏,等.青海三江源区植被退化对土壤养分和微生物区系的影响[J].应用与环境生物学报.2007,13(6):788-79
- [28] 刘志林.浅谈三角城种羊场草地生产及草地建设[J].青海草业,2000,9(3):30-31
- [29] 王文颖,王启基,王刚.高寒草甸土地退化及其恢复重建对土壤碳氮含量的影响[J].生态环境,2006,15(2):362-366
- [30] 苏永中,赵哈林.持续放牧和围封对科尔沁退化沙地草地碳截存的影响[J].环境科学,2003,24(4):23-28

(责任编辑 邵新庆)