

三江源地区退化高寒矮嵩草草甸剥蚀坑的成因

曹广民^{1,2}, 龙瑞军¹, 张法伟², 林 丽², 李以康², 梁东营²

(1. 甘肃农业大学 草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘要: 以三江源高寒草甸为对象, 研究了退化草地剥蚀坑发生的阶段、区域、形成过程及发生机制, 并就剥蚀坑发生对草地生产 - 生态服务功能的影响作了评述。结果表明: 剥蚀坑发生于三江源黄河区域高寒草甸小嵩草群落时期, 土壤草毡表层的极度发育、老化与死亡是剥蚀坑发生的前提, 死亡草毡表层中植物根系的分解、风蚀引起土层的塌陷是剥蚀坑形成的过程。剥蚀坑的发生导致草地系统水分涵养和地球系统碳储蓄功能的降低。保持适当厚度草毡表层是维持高寒矮嵩草草甸稳定性的基础。

关键词: 剥蚀坑; 三江源; 高寒草甸; 草毡表层

中图分类号: S 812.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5500(2010)02-0016-06

有关青藏高原高寒矮嵩草草甸的退化, 已有大量的文献报道。早期的研究主要从放牧作用、植物群落特征、啮齿动物种群动态等方面, 研究了与草地退化的耦合关系, 众多学者认为青藏高原高寒矮嵩草草甸的退化归咎于放牧强度的增大和鼠类活动对草地的破坏^[1-7]。2007年项目组从高寒矮嵩草草甸的内外因耦合与交互作用出发, 提出了高寒矮嵩草草甸的被动与主动退化过程假说, 认为超载放牧作用下高寒矮嵩草草甸小嵩草群落草毡表层极度加厚造成的土壤-牧草营养供求失调和生理干旱是其退化的终极原因, 并就其退化过程中地表及土壤特征、草毡表层的死亡消失过程机理给予了阐述^[8-12]。在已有研究基础上, 对退化高寒矮嵩草草甸剥蚀坑的形成提供新的证据, 以进一步揭示剥蚀型退化高寒矮嵩草草甸的成因, 为控制高寒矮嵩草草甸退化, 进行草地可持续发展提供理论依据。

1 材料和方法

以高寒矮嵩草草甸为研究对象, 研究区域为三江源腹地的青海省果洛州和青海玉树州地区(表1)。采用时空互代的方法, 研究了高寒矮嵩草草甸剥蚀坑形成的原因、机理、特征和对草地生产 - 生态服务功能的影响。

1.1 植物群落和剥蚀坑特征

采用样线调查法, 每个样地随机设置3条长25m的样带, 每隔5m设置1个样方, 样方面积1m×1m。记录其植物群落组成、剥蚀坑的盖度、深度和大小。

1.2 根土体积比

采用容量法进行测定, 野外用2mm土钻分层(每10cm一层)钻取土柱, 装入塑料自封袋中, 带回实验室, 以新鲜样品进行测定, 首先将所有样品转移到250mL容量瓶中, 用水定容, 得出土与植物根系总体积; 再将样品进行洗涤, 将草根转移到50mL容量瓶中, 以水定容, 得出根系体积。

1.3 土壤水分渗水速率与饱和持水量

采用环刀法, 将100cm³环刀砸入土壤, 量取环刀内齐地面至环刀上缘高度, 再将环刀注满水, 记录全部水分渗透所需时间, 单位时间内水分渗透量即为水分渗透速率。野外采取0~10cm土壤环刀样品, 上下封口带回实验室, 放置于湿润的黄沙磁盘中, 沙中注水, 待土壤毛细管汲取水分至饱和状态, 以烘干法测定土壤含水量, 即为饱和持水量。

收稿日期: 2010-01-20; 修回日期: 2010-03-16

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30730069)和中国科学院知识创新重要方向性项目

(KZCX2-YW-Q1-06; KSCX2-YW-Z1020)资助

作者简介: 曹广民(1963-), 男, 陕西人, 研究员, 从事高寒矮嵩草草甸生态系统物质循环研究。

E-mail: caogm@nwipb.ac.cn

龙瑞军为通讯作者。

表 1 退化高寒矮嵩草草甸剥蚀状况调查点

Table 1 Location of observation plots for degradation alpine grassland

地点	地理坐标	草毡表层厚度 / cm	群落特征
青海省玉树州称多县清水河镇北 3 km	N 33 49.789 , E 97 09.645 , 海拔 4 426 m	12	小嵩草群落草毡表层开裂期,小嵩草盖度 75%,黑斑 20%。地表塌陷坑不足 10%,无剥蚀坑,黑斑上以火绒草为主,黑斑上菌斑很小,且不连片,点状,放牧以牦牛为主。具有裂缝。
青海省玉树州巴塘机场西 5 km 玉树军牧场路南	N 32 51.943 , E 96 55.640 , 3 988 m	14	小嵩草群落草毡表层开裂期,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、高山唐蒿草、三叶梅花草、托吾、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、裂缝,未见剥蚀和鼠洞。植被盖度 40%,禾本科 25%,杂草(狼毒 8%~10%,其他 5%),土层 15~20 cm。
青海省果洛州玛沁县优云北 5 km	N 34 26.087 , E 99 12.185 , 4 321 m	16.63 ±5.50 (n=8)	小嵩草群落斑块状退化剥蚀阶段,剥蚀度 65%~70%,死亡黑斑占残留草皮的 40%,地表裂缝较多,草皮层发生破碎,均不连片,被分割为 20~2~1.5 cm 不规则大小的斑块,为剥蚀型退化草地。已经退牧,未见明显鼠类活动,地表没有凋落物残留。
青海省达日县窝塞乡政府南 10 km	N 33 34.411 , E 99 54.251 , 4 086 m	17.9 ±1.88 (n=5)	小嵩草群落斑块状退化剥蚀阶段,原生植被为小嵩草,同时有藏忍冬、羊茅,土壤表层被剥蚀,残余忍冬、羊茅呈斑块状分布,丛茎 10、20~40 cm 不等,鼠洞穴很多,但鼠类已经退出。地面小石子极多,粒径 4~5 cm,为原生草地 30 cm 以下心土。藏忍冬与细叶亚菊伴生。
青海省果洛州玛沁县大武乡格多牧委会	N 34 27.865 , E 100 12.373 , 3 751 m	17.51 ±2.12 (n=9)	小嵩草群落老化剥蚀阶段,草皮剥蚀度 65%~70%,老化死亡草毡表层大部分呈死亡黑斑状,盖度约 30%,部分残留草皮上有金露梅灌丛生长,高 3~4 cm。
青海省果洛州达日县满掌山	N 33 22.723 , E 100 14.324 , 4 302 m	12.4 ±0.53 (n=7)	位于小山坡上,是一小嵩草群落塌陷剥蚀的草地,剥蚀面积 65%,剥蚀处底土裸露,没有植被。残余草皮以小嵩草为优势,没有死亡黑斑,在残余草皮基部四周,布满了鼠洞。
青海省果洛州达日县窝塞乡政府南 5 km	N 33 48.346 , E 99 46.249 , 4 001 m	10.5 ±1.32 (n=7)	为老化草皮,处于小嵩草群落草毡表层剥蚀期,位于山脚,草皮剥蚀 75%,植被以矮嵩草、小嵩草、针茅、火绒草为优势。死亡黑斑、秃斑占老化草皮的 45%~50%。在靠近山脚地段为草毡表层剥蚀地,底土裸露,而在稍平缓滩地,则为黑土型退化草地。
青海省果洛州甘德、达日交界山哑合	N 33 53.342 , E 99 49.049 , 4 233 m	15.0 ±1.30 (n=6)	小嵩草群落草毡表层剥蚀期,植物种有小嵩草、马先蒿、火绒草、直立梗高唐、细叶亚菊、海乳草、兰石草、紫瑾,植被盖度 30%,山坡草皮剥蚀 80%,草皮厚 17~18 cm,地表砾石盖度 20%,砾石粒径 0.5~1 cm。山坡坡度 25~30°。
青海省果洛州甘德县城西 8 km	N 33 55.562 , E 99 51.752 , 4 233 m	15.9 ±1.10 (n=6)	山坡地,处于小嵩草群落剥蚀塌陷阶段,形成类似的鱼鳞坑,植被类型为小嵩草、矮嵩草、鹅绒委陵菜;亚优势种为细叶亚菊、矮火绒草、短穗兔耳草,植被盖度 60%,塌陷坑 35%。
青海省果洛州安拉山哑合西 3 km	N 34 01.142 , E 99 58.906 , 4 235 m	14.8 ±2.22 (n=6)	为一山间坡地滩地过渡草地,处于小嵩草群落草毡表层剥蚀期,优势植物种为小嵩草、青海风毛菊、矮火绒草,植被盖度 45%,草皮剥蚀面积 45%~50%,为夏季放牧草地。
青海省果洛州青珍乡西 51 km	N 34 09.162 , E 100 09.021 , 4 084 m	14.28 ±3.42 (n=9)	为一山间滩地,处于小嵩草群落草毡表层剥蚀期,以小嵩草、矮火绒草、细叶亚菊、兔耳草为优势种,亚优势种为紫羊茅和有独一味,草皮剥蚀面积 55%~60%,为夏季草地

2 研究结果

2.1 高寒矮嵩草草甸剥蚀坑形成的阶段与地域

将高寒矮嵩草草甸退化演替过程分为禾草-矮嵩草群落、矮嵩草群落、小嵩草群落和杂类草黑土型退化草地 4 个时期^[10]。在此基础上将处于小嵩草群落时期

的高寒矮嵩草草甸按照草毡表层特征,进一步划分草毡表层极度加厚、草毡表层开裂和草毡表层剥蚀 3 个亚时期(图 1)。

剥蚀坑形成时期为高寒矮嵩草草甸剥蚀坑形成于小嵩草群落阶段,起始于草毡表层开裂期,大量发生于

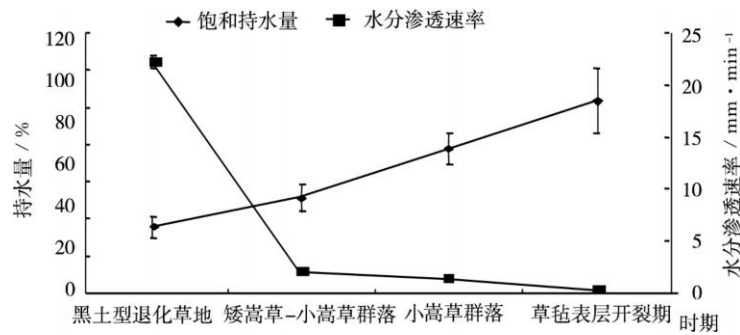


图1 高寒矮嵩草草甸持水量

Fig. 1 The moisture capacity of alpine meadow

小嵩草群落草毡表层剥蚀期。从区域来看,青海省果洛州草地多处于小嵩草群落草毡表层剥蚀期,剥蚀坑在该地区极为普遍,剥蚀坑盖度占到地表的50%~60%,主要分布于玛沁县、达日县和甘德县,在玛沁县的昌马河、优云及玛多县的小野马岭一带尤为普遍。而玉树州高寒矮嵩草草甸处于小嵩草群落草毡表层极度加厚和开裂期。从地形部位来看,剥蚀坑主要形成于山间滩地的退化高寒矮嵩草草甸中,处于山坡地带的退化高寒矮嵩草草甸则形成剥蚀山坡。二者的区别均在于高寒矮嵩草草甸草毡表层死亡剥落后所致,前者草毡表层分解破碎后,矿质土壤得以残留,而后者矿质土壤随水流失,土壤底土裸露。

2.2 剥蚀坑特征

剥蚀坑的大面积发生是三江源区退化高寒矮嵩草草甸的表观特征之一,草地景观破碎,残留老化草皮与剥蚀坑呈镶嵌分布。残留老化草皮斑块以小嵩草为绝对优势,斑块为1~2m,呈孤岛状。在斑块中心部位,小嵩草高0.5cm,处于半死亡状态,零星分布有矮火绒草。斑块四周为小嵩草死亡后形成的黑斑或秃斑,在死亡黑斑上多出现灰白色或黄色菌斑,菌斑2~7cm(表2,3)。同时在残留老化草皮上也可看到明显的裂缝,缝宽2cm,裂缝长2~3m,这是老化残余草地斑块进一步破碎的开端。

在剥蚀坑内,植被稀疏,以杂类草为优势种,优势植物种为矮火绒草、香青,多呈丛状分布,盖度不足20%,原生植被荡然无存。剥蚀坑深度多在12~15cm。坑四周残余老化草皮基部,可见有鼠类活动对草皮破碎后细土物质堆积,鼠洞密度极高,但当草地退化到此阶段,鼠类已退出,基本看不到有效的鼠洞和鼠类活动。

2.3 退化高寒矮嵩草草甸剥蚀坑形成机制

退化高寒矮嵩草草甸剥蚀坑的形成与高寒矮嵩草

草甸草毡表层的剥蚀破碎密切相关。草毡表层特别是老化的草毡表层韧性极大,铁铲也不易切割,在20世纪80年代牧民常作为草地围栏和家畜圈舍围墙材料,自然状况下可保持8~10年。

山坡地段退化高寒矮嵩草草甸草毡表层的剥蚀是由于其草毡表层的极度加厚,山坡径流水分对草毡表层下部土壤发生潜蚀或倒钩蚀作用,使得草毡表层悬空,同时草毡表层由于来自山坡上部径流水分的供给,长期处于饱和持水状态,在重力作用下发生坍塌。而对于处于滩地部位的高寒矮嵩草草甸则是由于草毡表层的极度发育,草毡表层发生老化死亡、龟裂,在鼠类的破坏和冻融作用下发生草毡表层的剥离^[14]。

表2 退化高寒草甸残余老化草皮特征

Table 2 Features of remainder grass crust of degradation alpine meadow

样方号	老化草皮斑块 / cm ²	秃斑 / %	菌斑面积 / %	菌斑数 / 个	菌斑大小 / cm
1	85.6 × 55.4	65	3	5	2.6 ± 0.7
2	216 × 147	55	8	30	5.3 ± 3.6
3	121.6 × 127	60	21	6	3.0 ± 1.0
4	92.5 × 113.4	85	20	6	4.4 ± 3.1
5	132.0 × 126.3	72	14	7	3.9 ± 1.3
6	123.4 × 102.4	72	40	8	6.3 ± 2.5
7	125.4 × 109.6	85	52	9	7.9 ± 4.8
8	109.6 × 35.5	95	30	6	2.4 ± 1.3
9	66.8 × 35.2	94	32	7	5.2 ± 2.7
10	105.8 × 99.5	62	13	6	4.8 ± 2.1
11	92.4 × 54.3	90	8	6	4.0 ± 2.5
12	47.6 × 39.14	78	12	6	3.3 ± 1.5
13	57.0 × 23.4	100	12	6	3.7 ± 1.4
14	75.4 × 42.1	98	5	6	1.3 ± 0.5
15	102.3 × 58.6	70	16	6	4.8 ± 2.0

注:样点位于青海省果洛州玛沁县大武乡格多牧委会的河流阶地上

基部可以明显看到大量剥离、坍塌的草毡表层斑块。令人不解的是处于滩地退化草地中形成了大量的剥蚀坑,其如此大量的被剥蚀物质移向了何处?其发生动力是什么?为何现场观测不到其移动迁移的痕迹?

在对小嵩草群落草毡表层剥蚀阶段老化草毡表层的研究发现,处于该阶段草地草毡表层的厚度多在 15~17 cm,其根/土体积比在 1.5~2.0 (表 1,4)。当老化草毡表层发生剥离后,自然风蚀作用加速了根系的死亡、干燥脱水,形成大量的根孔,在放牧、冻融交替作用下,植物根系矿化分解,草毡表层破碎,残余根系物质风蚀殆尽,加之部分细土物质的风蚀作用和残留土壤的原地淀积作用,土壤容重由老化草皮的 0.56 g/cm³增加到 1.2 g/cm³,其损失的总体积应为老化草毡表层体积的 3/4,与野外观测到剥蚀坑的深度基本相当。放牧家畜的践踏是加速老化草毡表层破碎的动力之一,然而这个过程将经历多长时间,三江源退化高寒

矮嵩草草甸现有大量的剥蚀坑形成于那个年代,尚无法给予确切的回答。

2.4 高寒矮嵩草草甸剥蚀与黑土滩型退化草地关系

高寒矮嵩草草甸的退化顶极阶段,形成黑土型和剥蚀型两类退化草地。对于地形差异较大的山坡与滩地来说,山坡均为剥蚀型退化草地,滩地应为黑土型退化草地,降水对土壤的冲刷应为二者分异的主要因素。然而,野外调查中常常发现同样处于山间滩地地形部位的高寒小嵩草群落草地退化后,有的形成典型的黑土型退化草地,有的则成为剥蚀型退化草地。野外观测表明,土层厚度在 60~80 cm 的滩地,草地退化后多成为黑土型退化草地,而土层在 15~20 cm 的草地多退化为剥蚀型退化草地。且黑土型退化草地没有残留老化草毡表层,而剥蚀型退化草地老化草皮残留率 50%~60%。草甸退化发生分异的机理需要长期定位观测。

表 3 退化高寒矮嵩草草甸地表特征

Table 3 Surface features of degradation alpine meadow

样方号	小嵩草	灌丛	矮火绒草	黑斑	秃斑	剥蚀坑	塌陷	裂缝
/ %								
1	25	60				28		
2	40			42	12	3		
3	10		60			26		
4	48			20	3	38		
5	52	12			6	21		
6	60	23	5		18			
7	75	7	3		4		90	
8			58			100		50
9	60	11		3		34		5
10	75	3		3		20	6	
11	56		8	5		7		
12	22					80		
13	76		7	2			3	
14	40	4		9	2	6		
平均	49 ±21	17 ±20	24 ±28	12 ±15	8 ±6	33 ±31	33 ±49	28 ±32

注:样点位于青海省果洛州玛沁县优云乡北 5 km

表 4 退化高寒矮嵩草草甸草毡表层的根土体积比

Table 4 Volume ration of root and soil in Mattic epipedon on degradation alpine meadow

(v/v)

采样地点	所处阶段	0~10	10~20
青海省玉树州称多县清水河镇北 3 km	小嵩草草皮开裂期	1.51 ±0.81	0.34 ±0.20
青海省果洛州玛沁县大武乡格多牧委会	小嵩草群落剥蚀阶段	2.25 ±0.32	0.36 ±0.10
青海省果洛州玛沁县优云北 5 km	小嵩草群落剥蚀阶段	1.42 ±0.38	0.53 ±0.26

2.5 剥蚀型退化草地与沼泽湿地“塔头”的区别

剥蚀型退化高寒矮嵩草草甸地段,常常由于剥蚀坑与残留老化草毡表层的镶嵌分布,形成了类似高寒湿地“塔头”的景观,给人造成退化高寒矮嵩草草甸剥蚀作用是水蚀作用所致的错觉。二者之间具有本质的区别,表现在:(1)剥蚀型退化高寒矮嵩草草甸“塔头”是以小嵩草为主要植物类群,植株低矮而发黄,草高不足1 cm,植物处于半死亡状态,塔头上死亡黑斑约占“塔头”的1/3,且环绕于“塔头”的四周;而高寒湿地的“塔头”发育着西藏嵩草群落,植株生长茂密,颜色碧绿,茎秆粗壮而刺手;(2)在剥蚀型退化高寒矮嵩草草甸剥蚀坑内,底土裸露,植物稀疏,矮火绒草、香青多为丛状分布;而高寒湿地的剥蚀坑,多为季节性或常年性积水,裸露土壤呈青灰色;(3)在剥蚀型退化草地残留老化草皮基部,鼠穴密布,常常使草毡表层悬空;而湿地塔头基部,很少有鼠类活动;(4)剥蚀型高寒矮嵩草草甸剥蚀坑的形成是老化草皮内根系死亡分解和细土物质的风蚀所致,而湿地剥蚀坑为水分冲刷侵蚀所致。

3 讨论

草毡表层是高寒矮嵩草草甸稳定性得以维持的物

表5 高寒矮嵩草草甸退化演替过程中的草毡表层厚度

Table 5 Depth of Mattic epipedon during degradation succession in alpine meadow

禾草-嵩草群落	矮嵩草群落	小嵩草群落	小嵩草加厚期	小嵩草群落开裂期	小嵩草群落剥蚀期	黑土滩
2.2	3.1	3.8	4.6	12.0	14.6	微弱

剥蚀坑的发生,不仅使得高寒矮嵩草草甸呈现景观破碎化,草地生产性能的降低,同时造成草地碳贮蓄和水分涵养功能的减弱。随人类活动干扰的增加,高寒矮嵩草草地植物有机碳地下/地上分配比发生巨大改变,植物群落地上部分有机碳储量逐渐降低,由禾草-矮嵩草群落的 $134.7 \pm 17.3 \text{ g C/m}^2$ 逐渐降低到杂类草-黑土滩次生裸地 $18.96 \pm 6.18 \text{ g C/m}^2$ 。土壤、植物地下部分有机碳在草地处于小嵩草群落草毡表层开裂期最高,分别为 $49.7 \pm 0.83 \text{ g C/kg}^1$ 和 $3596.7 \pm 179.8 \text{ g C/m}^2$ 。当草地草毡表层厚度为4 cm是草地生产与生态服务功能最优时期^[13]。

随着人类活动干扰的增加,高寒矮嵩草草甸发生从矮嵩草-小嵩草群落、小嵩草群落、小嵩草群落草毡表层开裂期的演替,植物根系急剧增加,草毡表层不断加厚,可大大提高草地土壤的持水能力。然而,在这个过程中,土壤水分渗透性能却大幅度减弱,特别是处于

质基础,保持适宜厚度的草毡表层是高寒矮嵩草草甸可持续发展的关键,典型的高寒矮嵩草草甸,在人为活动干扰增加背景下,发生由禾草-矮嵩草群落、矮嵩草群落、小嵩草群落、小嵩草群落草毡表层加厚、小嵩草群落草毡表层开裂、小嵩草群落草毡表层剥蚀、杂类草黑土型退化草地的演替过程,在这个阶段中,草毡表层逐渐加厚、死亡、剥蚀、消失(表5)。从草原害鼠类群与数量变化来看,在禾草-矮嵩草群落-矮嵩草群落时期,高寒矮嵩草草甸害鼠以高原鼢鼠为主,其破坏行为为地下挖掘和鼠丘土对草皮的覆盖,危害面积大而破坏强烈。当草地进入小嵩草群落阶段以后,草地害鼠以甘肃鼠兔和高原鼠兔为主,在处于小嵩草群落草毡表层开裂期之前,其破坏能力很弱;进入小嵩草群落草毡表层剥蚀期,甘肃鼠兔和高原鼠兔进入高爆发期,几乎每块老化草皮的底部,都可见鼠类的挖掘痕迹,鼠洞密布,纵横交错。但当草地形成大量的剥蚀坑或进入杂类草黑土型草地后,鼠类密度就会大幅度下降。因此,保持适当厚度的草毡表层,也许是高寒矮嵩草草甸维持其稳定性采取的策略之一。进入小嵩草群落草毡表层阶段开裂气后的鼠类活动的加剧,也许是草地进行老化草毡表层破解的自我调控措施。

小嵩草群落草毡表层开裂期的草地,土壤草毡表层致密而深厚,死亡的黑褐色生物结皮对降水形成了极大的阻滞作用,使得降水发生径流或从土壤裂隙直接入渗到土体下部。当草地退化到顶极杂类草黑土型退化草地,土壤水分入渗速率极强,而土壤的保水能力却最弱,降水渗漏到土体底部,成为无效水分(图3)。因此,保持一定厚度的草毡表层,是维持高寒矮嵩草草甸贮水功能,减少土壤流失的关键。

参考文献:

- [1] 星学军. 三江源区高寒草甸不同退化程度草地特征的调查与分析[J]. 饲草与饲料, 2009(9): 50 - 51.
- [2] 边多, 李春, 杨秀海, 等. 藏西北高寒牧区草地退化现状与机理分析[J]. 自然资源学报, 2008, 123(12): 254 - 262.
- [3] 王宝山, 尕玛加, 张玉. 青藏高原“黑土滩”退化高寒草甸草原的形成机制和治理方法的研究进展[J]. 草原与草坪, 2007(2): 72 - 77.

- [4] 周华坤,周立,赵新全. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志,2003,22(5):51-55.
- [5] 刘伟,王启基,王溪,等. 高寒“黑土型”退化草地的成因及生态过程[J]. 草地学报,1999,7(4):300-307.
- [6] 刘伟,王溪,周立,等. 高原鼠兔对小高草草甸的破坏及其防治[J]. 兽类学报,2003,23(3):214-219.
- [7] 张静,李希来,于海. 青海高原不同退化程度小高草草甸群落结构特征与土壤理化特征分析[J]. 草原与草坪,2008(4):5-9.
- [8] 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.
- [9] 曹广民,龙瑞军. 放牧高寒矮嵩草草甸的稳定性及自我维持机制[J]. 中国农业气象,2009,30(4):553-560.
- [10] 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]. 山地学报,2007,25(6):641-648.
- [11] 杜岩功,梁东营,曹广民,等. 放牧强度对嵩草草甸草毡表层及营养和水分利用的影响[J]. 草业学报,2008,17(3):146-150.
- [12] 杜岩功,曹广民,王启兰,等. 放牧对高寒草甸地表特征和土壤物理性状的影响[J]. 山地学报,2008,25(3):338-343.

Mechanism of denuded pits developing in degraded alpine *Kobresia humilis* meadow in the Three Rivers Source Region

CAO Guang-min^{1,2}, LONG Rui-jun¹, ZHANG Fa-wei², LIN Li²,
LI Yi-kang², LIANG Dong-ying²

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

Abstract: Occurrence of denuded pits in large area is a typical surface feature of the degraded alpine grasslands in the Three Rivers Source Region. The alpine *Kobresia humilis* meadow was selected as the research object to analysis the characteristics, developing process, occurrence mechanism of denuded pits in research area and discuss its impacts on the productivity and ecological service function. It indicated that the denuded pits take place in cracking period of *Kobresia pygmaea* meadow phrases, and widely developing in source region of the Yellow River than in the Yangtze River; Denuded pits forming is the synthesized result of dead plant root decomposition, clay erosion and collapse. It tremendously reduced the potential of water holding and carbon storage of alpine meadow ecosystem. It is the key for maintaining the stability of alpine *Kobresia humilis* meadow to keep a suitable thickness of *Mattic epipedon*.

Key words: denuded pits; Three Rivers Source Region; alpine meadow; *Mattic epipedon*