

模拟牦牛和藏羊践踏对垂穗披碱草凋落物损失率和化学计量特征的影响

周洋洋, 张建文, 潘涛涛, 徐长林, 鱼小军

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为深入了解自然降雨条件下牦牛和藏羊践踏强度对青藏高原高寒草甸凋落物分解的分异影响,在天祝高寒草甸进行模拟牦牛和藏羊践踏调控试验,采用凋落物网袋法研究了牦牛和藏羊践踏强度对垂穗披碱草(*Elymus nutans*)凋落物损失率和化学计量特征(N、P、K 和 C 含量)的影响。结果表明:存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的凋落物损失率在各践踏处理下均呈增加趋势。同等牦牛和藏羊强度下,已存放 1~15 个月的垂穗披碱草凋落物损失率,凋落物 N、P 和 K 含量在牦牛践踏处理下均大于藏羊处理。垂穗披碱草凋落物损失率, N 和 P 含量在藏羊轻度践踏处理下显著低于重度践踏, C 和 K 含量在藏羊轻度践踏处理显著高于重度践踏($P < 0.05$)。且在 2015 年度已存放 1、2 和 3 个月与在 2016 年度已存放 13、14 和 15 个月的凋落物 C 和 K 含量均表现为释放模式,而凋落物 N 和 P 表现为富集模式。综合分析,牦牛和藏羊的践踏促进了凋落物的分解,牦牛践踏下垂穗披碱草凋落物的分解快于藏羊处理。

关键词:模拟践踏;牦牛;藏羊;垂穗披碱草;凋落物;损失率;化学计量

中图分类号:S543 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)03-0001-09

凋落物是植物凋落到地表的植物残体,具有保护土壤免遭雨水击打、减少水分散失、拦蓄和过滤地表径流、改良土壤等作用^[1]。草地生态系统养分循环实质上就是植物—凋落物—土壤之间的循环^[2]。作为生态系统物质循环和能量流动的主要途径,凋落物分解对土壤养分库的平衡起着重要作用。通过凋落物的分解,生态系统固定的碳和矿质养分等得以持续性循环,而凋落物的分解速率很大程度上影响其在地表积累速度以及矿质元素和其他营养物质的归还。因此,有关凋落物分解的研究在草地生态系统中具有重要意义。

青藏高原素有“世界屋脊”和“世界第三极”之称^[3],是世界上最大的高山草地生态系统,在维持全球

生态系统平衡中至关重要^[4-5],同时也是我国重要的畜牧业生产基地之一,是承载着文化传承—牧民生活—经济发展—社会稳定的重要枢纽^[6]。高寒草地是青藏高原生态系统的主要组成部分,该地区具有海拔高,降水少和气候寒冷等特点,因此,抗干扰能力较差,极易受人为因素干扰^[7]。近年来由于全球气候变化及管理利用不当等因素,青藏高原地区草地功能失调,此现象严重制约着该区域草地系统功能的发挥和草牧业的发展^[8-9]。因此,协调好生态—畜牧业—牧民生活之间的关系尤为重要。

青藏高原地区饲养着 5 000 万只藏羊和 1 600 万头牦牛^[10],其践踏、采食和排泄作用对草地植物及土壤均有重要影响^[11-13]。研究发现,放牧家畜通过采食减少了凋落物的累积量,践踏作用促进了凋落物破碎和分解^[14-15]。与家畜的采食、排泄相比,践踏对草地的作用具有长久性、直接性等特点^[16-17]。家畜种类的不同,决定了蹄压强度,践踏面积和践踏强度的差异,导致对草地的影响具有差异性。因此,把践踏强度作为独立因素从放牧中剥离进行研究。关于牦牛和藏羊

收稿日期:2018-12-06; 修回日期:2018-12-21

基金项目:国家自然科学基金(31760695)资助

作者简介:周洋洋(1994-),女,内蒙古通辽人,在读硕士。

E-mail:1345657539@qq.com

鱼小军为通讯作者。

E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

践踏对凋落物化学计量的研究鲜见报道。以天祝高山草甸植物垂穗披碱草(*Elymus nutans*)为试验材料,在自然降水下通过模拟牦牛和藏羊践踏来测定凋落物C、N、P、K元素含量及凋落物损失率变化,为实现天然草地的健康管理以及揭示草地生态系统自我修复和健康维持的机理提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地设在甘肃农业大学天祝高山草原试验站。属于青藏高原东北缘的甘肃省武威市天祝藏族自治县抓喜秀龙乡辖区,地理位置E 37° 40' N, E 102° 32'。海拔2 960 m,气候湿润,空气稀薄且辐射强,无绝对无霜期,一年之中仅分两季(冷季和暖季),7月平均气温12.7℃,1月平均气温-18.3℃,年平均气温-0.1℃,年均积温为1 380℃;年平均降水量为416 mm,多表现为地形雨,雨期大多集中于7、8和9月^[18]。土壤质地以亚高山黑钙土和亚高山草甸土为主,土层厚度0.4~0.8 m,土壤pH为7.0~8.2。试验区为嵩草草甸,主要植被包括矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、西北针茅(*Stipa sareptana*)、阴山扁蓿豆(*Medicago ruthenia* var. *inschanica*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、球花蒿(*Artemisia smithii*)和平车前(*Plantago depressa*)^[19]。

1.2 试验方法

2014年10月底,在试验地附近,收集垂穗披碱草凋落物,以茎秆为主。将凋落物样剪成10 cm,65℃烘干至恒重后,称取5 g凋落物,装入10 cm×15 cm的尼龙袋中^[20],网孔为1 mm,编号。基于凋落物在别的环境(客场)的分解特征低于其生长的环境(主场),即主场效应(HFA)^[21-23],2015年5月底,将盛有凋落物的尼龙袋均匀排列置于样地,并用“U”形钉固定于土壤表面,每个小区放置30袋。每小区面积1 m×2 m,每个践踏处理下设置3个小区,6个践踏处理下共设置18块小区。

模拟践踏试验以2014年在高寒草甸暖季每天进行8 h的践踏步数和对家畜称重的统计结果为依据^[24]。分别在2015年和2016年的6~8月进行藏羊轻度践踏,藏羊中度践踏和藏羊重度践踏与牦牛轻度

践踏,牦牛中度践踏和牦牛重度践踏处理,每年先后分3次践踏,每次践踏时间连续10 d,休养生息20 d后再次践踏。在轻度、中度和重度放牧区藏羊的蹄印数分别为40,70和100 m²/d;在轻度、中度、重度放牧区牦牛的蹄印数分别为18,30和40 m²/d^[19]。选用3岁藏羊、5岁牦牛的后蹄自己制作模拟践踏器,对草地进行模拟践踏。通过体重为45 kg的人穿安装有3只藏羊后蹄的践踏模拟器模拟45±2 kg的藏羊放牧采食时对草地的真实践踏水平,体重(60±2)kg的人穿安装有1只牦牛后蹄的践踏模拟器模拟180 kg的牦牛放牧采食时对草地的真实践踏水平。

取样时间为2015和2016年7、8和9月月初,即2015和2016年3期取样时凋落物放置时间分别为1、2、3、13、14和15个月。每小区随机取凋落物3袋。清除杂物烘干后称其重量,并且测定C、N和P元素含量。

$$\text{凋落物质量损失率(LW)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

式中:W₁为凋落物初始质量;W₂为处理后的凋落物质量。

凋落物有机碳测定采用总有机碳分析仪(Multi N/C 2100s Germany),全氮测定采用全自动凯氏定氮仪(K9860),全磷采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,钼锑抗比色法,全钾采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,火焰光度计法^[25-27]。

1.4 数据处理

利用SPSS 18.0中Compare Means对模拟践踏强度下的贮藏营养物质进行单因素方差分析,差异显著性采用Duncan法进行多重比较;采用Excel 2007制图。所有数据用平均数±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 模拟践踏对垂穗披碱草凋落物损失率的影响

垂穗披碱草凋落物损失率均表现为重度践踏>中度践踏>轻度践踏。存放1、2、3、13、14和15个月的垂穗披碱草凋落物损失率在牦牛和藏羊轻度践踏处理下均显著低于各自的重度践踏处理($P<0.05$)。随着存放时间的延长,垂穗披碱草凋落物损失率呈增加趋势(表1)。

存放1、2和3个月的垂穗披碱草凋落物损失率在藏羊重度践踏下显著低于同等强度牦牛践踏($P<$

0.05)。存放 13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物碳

表 1 垂穗披碱草凋落物损失率

Table 1 The litter loss rate of <i>Elymus nutans</i>							%
处理	凋落物损失率/%						
	存放时长/月						
	1	2	3	13	14	15	
TSLT	8.07±0.142 ^{Cc}	8.43±0.343 ^{Dbc}	8.8±0.92 ^{Dab}	6.8±0.056 ^{Fd}	8.52±0.187 ^{Eb}	9.0±0.247 ^{Da}	
TSMT	8.99±0.281 ^{Bc}	9.97±0.546 ^{Bbc}	10.35±0.233 ^{Cab}	7.5±0.07 ^{Ed}	9.36±0.232 ^{Dbc}	10.99±0.728 ^{Ca}	
TSHT	9.15±0.023 ^{Be}	10.94±0.528 ^{Bc}	11.65±0.961 ^{Ab}	8.8±0.129 ^{Bf}	10.53±0.219 ^{BCd}	12.28±0.044 ^{Ba}	
YLT	8.47±0.534 ^{Ce}	9.21±0.127 ^{Cd}	10.47±0.34 ^{Ca}	7.8±0.101 ^{Df}	10.04±0.022 ^{Cb}	10.32±0.047 ^{Cc}	
YMT	8.9±0.151 ^{Bc}	10.7±0.244 ^{Bb}	11.77±0.943 ^{Ba}	8.36±0.024 ^{Cd}	10.68±0.24 ^{Bb}	11.51±0.346 ^{BCa}	
YHT	10.51±0.42 ^{Ad}	12.78±0.401 ^{Ab}	13.03±0.592 ^{Aab}	10.06±0.126 ^{Ad}	11.81±0.168 ^{Ac}	13.44±0.376 ^{Aa}	

注:同列不同大写字母表示差异显著($P<0.05$),同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

含量在牦牛轻度、重度践踏下显著高于同等强度藏羊践踏处理,存放 13 和 14 个月的垂穗披碱草凋落物损失率在藏羊 3 个践踏处理下均显著低于同等强度牦牛践踏处理($P<0.05$)。

2.2 模拟践踏对垂穗披碱草凋落物钾含量的影响

随着牦牛和藏羊践踏强度的增加,存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物钾含量均表现为轻度践踏>中度践踏>重度践踏(表 2)。

存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落

物钾含量在同等藏羊践踏处理下均低于牦牛处理。存放 3 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物钾含量在牦牛重度践踏下显著高于同等藏羊践踏处理($P<0.05$)。

存放 1 个月的垂穗披碱草凋落物钾含量显著低于存放 2 和 3 个月的凋落物钾含量;存放 13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物钾含量在牦牛和藏羊各践踏下均分别显著高于存放 1、2 和 3 个月的凋落物钾含量($P<0.05$)。

表 2 垂穗披碱草凋落物钾含量

Table 2 The kalium content of <i>Elymus nutans</i> litter							
处理	凋落物钾含量/(g·kg ⁻¹)						
	存放时长/月						
	1	2	3	13	14	15	
TSLT	6.7±0.235 ^{Bd}	5.35±0.304 ^{ABe}	4.48±0.211 ^{ABf}	14.85±0.192 ^{Ba}	9.82±0.081 ^{BCb}	8.21±0.394 ^{BCc}	
TSMT	6.54±0.03 ^{Bd}	4.97±0.061 ^{ABe}	4.29±0.25 ^{ABe}	13.49±0.156 ^{CDa}	8.82±0.482 ^{CDb}	7.76±0.202 ^{Cb}	
TSHT	6.04±0.026 ^{Cc}	3.94±0.055 ^{Cd}	3.68±0.061 ^{Cd}	10.9±0.546 ^{Ea}	7.97±0.368 ^{Db}	6.14±0.06 ^{Dc}	
YLT	7.48±0.108 ^{Ad}	5.52±0.055 ^{Ae}	4.67±0.038 ^{Ae}	16.75±0.077 ^{Aa}	13.19±0.343 ^{Ab}	11.36±0.646 ^{Ac}	
YMT	7.25±0.042 ^{Ad}	5.07±0.27 ^{ABe}	4.52±0.005 ^{ABe}	14.19±0.142 ^{BCa}	12.47±0.291 ^{Ab}	10.83±0.236 ^{Ac}	
YHT	6.88±0.056 ^{Bd}	4.85±0.078 ^{Be}	4.19±0.027 ^{Be}	13.05±0.319 ^{Da}	10.05±0.453 ^{Bb}	9.01±0.415 ^{Bb}	

2.3 模拟践踏对垂穗披碱草凋落物磷含量的影响

随着牦牛和藏羊践踏强度的增加,存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物磷含量均表现为轻度践踏>中度践踏>重度践踏(表 3)。

存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物磷含量在同等藏羊践踏处理下均低于牦牛处理。且各藏羊践踏处理下垂穗披碱草凋落物磷含量均显著低于同等强度牦牛践踏处理($P<0.05$)。

存放 3 个月的垂穗披碱草凋落物磷含量显著高于存放 1 和 2 个月的凋落物磷含量。存放 15 个月的垂穗披碱草凋落物磷含量在牦牛和藏羊各践踏下均分别显著高于存放 13 和 14 个月的凋落物磷含量($P<0.05$)。存放 13 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物磷含量在牦牛和藏羊重度践踏下分别显著高于存放 1 和 3 个月的凋落物磷含量($P<0.05$)。存放 14 个月的垂穗披碱草凋落物磷含量在藏羊重度践踏下分别显著高

于存放 2 个月的凋落物磷含量 ($P<0.05$),但在牦牛 重度践踏下差异不显著 ($P>0.05$)。

表 3 垂穗披碱草凋落物磷含量

Table 3 The phosphorus content of *Elymus nutans* litter

处理	凋落物磷含量/(g·kg ⁻¹)					
	存放时长/月					
	1	2	3	13	14	15
TSLT	0.15±0.002 ^{Fc}	0.17±0.003 ^{Eb}	0.25±0.004 ^{Ea}	0.21±0.003 ^{Ec}	0.23±0.001 ^{Db}	0.27±0.003 ^{Ea}
TSMT	0.18±0.005 ^{Ec}	0.22±0.01 ^{Db}	0.28±0.003 ^{Da}	0.22±0.008 ^{Dc}	0.25±0.005 ^{Cb}	0.29±0.005 ^{Da}
TSHT	0.21±0.004 ^{Dc}	0.24±0.009 ^{Cb}	0.29±0.004 ^{CDa}	0.24±0.003 ^{Cc}	0.26±0.001 ^{Bb}	0.31±0.004 ^{Ca}
YLT	0.23±0.006 ^{Cc}	0.25±0.003 ^{Cb}	0.3±0.002 ^{Ca}	0.24±0.003 ^{Cc}	0.25±0.003 ^{Cb}	0.31±0.002 ^{Ca}
YMT	0.24±0.003 ^{Bc}	0.27±0.008 ^{Bb}	0.31±0 ^{Ba}	0.25±0.003 ^{Bc}	0.27±0.003 ^{Bb}	0.32±0.001 ^{Ba}
YHT	0.26±0.003 ^{Ac}	0.31±0.005 ^{Ab}	0.37±0.005 ^{Aa}	0.29±0.004 ^{Ab}	0.3±0.004 ^{Ab}	0.34±0.005 ^{Aa}

2.4 模拟践踏对垂穗披碱草凋落物氮含量的影响

2.4.1 践踏强度间对比 垂穗披碱草凋落物氮含量,均表现为重度践踏>中度践踏>轻度践踏。存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物氮含量在牦牛和藏羊轻度践踏处理下均显著低于各自的重度践踏处理 ($P<0.05$)。

2.4.2 育种间对比 存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物氮含量在同等藏羊践踏处理下均低于牦牛处理。存放 13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物氮含量在牦牛重度践踏处理下显著高于同等强度藏羊践踏处理 ($P<0.05$)。

2.4.3 存放时长对比 存放 13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物氮含量在牦牛和藏羊 3 个践踏处理下均分别显著高于存放 1、2 和 3 个月的凋落物氮含量 ($P<0.05$) (表 4)。

2.5 模拟践踏对垂穗披碱草凋落物碳含量的影响

垂穗披碱草凋落物碳均表现为轻度践踏>中度践踏>重度践踏。存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物碳含量在牦牛和藏羊轻度践踏处理下均

显著低于各自的重度践踏处理 ($P<0.05$)。

存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物碳含量均为同等践踏强度下藏羊高于牦牛。在同等践踏强度下,存放 1、2 和 3 个月的垂穗披碱草凋落物碳含量,牦牛重度践踏处理显著低于藏羊的践踏处理 ($P<0.05$)。牦牛中度和重度践踏存放 13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物碳含量,显著低于同等践踏强度藏羊处理 ($P<0.05$)。

存放 15 个月的垂穗披碱草凋落物碳含量显著低于存放 13 和 14 个月的凋落物碳含量 ($P<0.05$)。存放 13、14 和 15 个月的垂穗披碱草凋落物碳含量在牦牛和藏羊中度和重度践踏下均分别显著低于存放 1、2 和 3 个月的凋落物碳含量 ($P<0.05$) (表 5)。

2.6 模拟践踏和存放时间交互作用对各测定指标影响的方差分析

方差分析 (F 值检验) 表明,模拟践踏处理极显著影响各测定指标 ($P<0.01$)。模拟践踏和存放时间的交互作用下,垂穗披碱草凋落物损失率、C、N、P 和 K 含量间差异均达极显著水平 ($P<0.01$)。

表 4 垂穗披碱草凋落物氮含量

Table 4 The nitrogen content of *Elymus nutans* litter

处理	凋落物氮含量/(g·kg ⁻¹)					
	存放时长/月					
	1	2	3	13	14	15
TSLT	2.51±0.04 ^{De}	2.58±0.13 ^{Dde}	2.88±0.03 ^{Dd}	5.43±0.086 ^{Cc}	7.24±0.213 ^{Cb}	7.92±0.007 ^{Da}
TSMT	2.72±0.06 ^{CDe}	2.87±0.02 ^{Cde}	3.02±0.03 ^{Cd}	6.55±0.078 ^{BCc}	7.43±0.033 ^{Cb}	8.27±0.076 ^{BCa}
TSHT	2.97±0.01 ^{BCe}	3.1±0.03 ^{Bd}	3.21±0.05 ^{Bd}	6.79±0.032 ^{Bc}	7.84±0.042 ^{Bb}	8.34±0.045 ^{BCa}
YLT	2.65±0.19 ^{De}	2.69±0.03 ^{CDc}	3.0±0.02 ^{CDd}	6.25±0.07 ^{Cc}	7.36±0.03 ^{Cb}	8.16±0.095 ^{Ca}
YMT	3.02±0 ^{ABc}	3.18±0.05 ^{ABc}	3.26±0.07 ^{Bc}	7.25±0.186 ^{Ab}	7.59±0.165 ^{BCb}	8.4±0.099 ^{Ba}

表 5 垂穗披碱草凋落物碳含量						
Table 5 The carbon content of <i>Elymus nutans</i> litter						
处理	存放时长/月					
	1	2	3	13	14	15
TSLT	567.12±3.074 ^{Aa}	560.43±0.347 ^{Abc}	557.95±0.017 ^{Abc}	561.04±0.553 ^{Ab}	556.32±0.215 ^{Ac}	540.39±0.632 ^{Ad}
TSMT	563.35±0.987 ^{ABa}	559.95±0.73 ^{Ab}	556.87±0.516 ^{Ac}	556.7±0.475 ^{Cc}	554.55±0.054 ^{Ac}	537.37±1.511 ^{Ad}
TSHT	559.02±0.092 ^{Ba}	556.1±0.731 ^{Bb}	554.29±0.262 ^{Bc}	553.06±0.016 ^{Ec}	545.84±0.526 ^{Cd}	532.39±0.851 ^{Be}
YLT	561.01±1.192 ^{Ba}	559.42±0.219 ^{Aa}	554.78±0.25 ^{Bb}	558.87±0.05 ^{Ba}	551.25±1.78 ^{Bc}	537.54±1.676 ^{Ad}
YMT	558.95±0.286 ^{Ba}	557.51±0.318 ^{Ba}	552.6±0.29 ^{Cb}	554.61±0.371 ^{Db}	549.48±0.333 ^{Bc}	532.09±1.784 ^{Bd}
YHT	554.3±0.061 ^{Ca}	553.97±0.168 ^{Ca}	550.31±0.503 ^{Dab}	550.62±0.014 ^{Fb}	542.95±1.458 ^{Cc}	524.61±1.876 ^{Cd}

表 6 各测定指标在模拟践踏和存放时间交互作用下的方差分析						
Table 6 The variance analysis of the measured indexes under the interaction of simulated trampling and storage time						
变异来源	自由度	F 值				
		损失率	N	P	K	C
践踏	5	296.68 ^{**}	99.02 ^{**}	302.28 ^{**}	118.38 ^{**}	93.20 ^{**}
存放时间	5	262.87 ^{**}	5 537.16 ^{**}	417.50 ^{**}	1 133.11 ^{**}	595.92 ^{**}
践踏×存放时间	25	49.50 ^{**}	6.27 ^{**}	6.74 ^{**}	12.58 ^{**}	3.51 ^{**}

注：**表示在 0.01 水平上差异显著

3 讨论

凋落物化学计量即养分,与凋落物损失率一样,都是反映草地生态系统物质循环和能量流动效率的重要指标^[28],主要受非生物因素(降水和光辐射)和生物因素(动物种群组成和群落结构、凋落物质量、微生物)的影响^[29]。天然草地放牧利用过程中,外界因素和家畜活动均作用于凋落物分解过程。高永恒^[30]和张鹏莉^[31]研究报道降水和微生物活动均对凋落物分解具有显著作用,促进元素的释放和富集^[32]。家畜主要通过采食,践踏和排泄等方式,共同作用于草地植被,其中,践踏作用不仅使草地践踏紧实,造成草地理化性质和植被类型变化^[33-34],而且还会对凋落物进行破碎作用,造成凋落物的物理损伤,进而加速凋落物的分解^[35]。存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的凋落物的损失率,N,P 和 K 含量在同等强度牦牛践踏处理下均大于

藏羊处理,且存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的凋落物的损失率、P、K 含量在牦牛重度践踏下均显著高于同等强度藏羊践踏处理,出现这样结果的原因是因为牦牛和藏羊在生活习性及个体上的差异,造成在践踏作用下对凋落物的物理损伤程度间存在差异,同等践踏强度下,牦牛的蹄压和践踏强度高于藏羊,说明模拟践踏和放牧对凋落物的影响具有同质性。

试验发现,随着牦牛和藏羊践踏强度的增加,凋落物损失率呈增加趋势,藏羊重度践踏下凋落物损失率显著高于轻度践踏,牦牛践踏下凋落物损失率也显示相同规律。存放 1、2、3、13、14 和 15 个月的凋落物损失率在各践踏处理下的损失率均呈增加趋势。存放 1 个月与 3 个月的凋落物损失率间差异显著,存放 2 个月与 3 个月差异不明显,而存放 13、14 和 15 个月的凋落物损失率间均差异显著,说明践踏作用会改变地表植物盖度,增加地表的温度与光线的射入量,且随着处

理时间的增加,加剧这种影响,进而加快凋落物的分解。这与 Shariff 等^[36]和高永恒等^[32]有关半干旱草原地区放牧压增加促进凋落物分解的结果相一致。试验同时发现,凋落物分解过程中,第 1 年存放 1,2 和 3 个月与第 2 年存放 13,14 和 15 个月的 C 和 K 均表现为释放模式,而 N 和 P 表现为富集模式。出现 N、P 元素富集的结果可能是因为这类凋落物在分解过程中从环境吸收固定了 N、P 等养分,这与 Aravi^[34]关于苔草属凋落物分解中 N 浓度升高;木里苔草、藏嵩草和鹅绒委陵菜分解过程中也经历过 N 富集的结果相似,而 Ping 等^[37]等关于内蒙古牧场上 5 个物种凋落物的养分动态的研究发现,随月份的推移,各践踏处理下 N 和 P 含量呈缓慢-加速释放的趋势。夏季轮牧试验发现^[38],凋落物 C、K 含量表现为净释放,与试验结果相近。说明践踏作用可以促进凋落物的分解,物种不同会使凋落物养分在释放方式间存在差异性。

已有的研究报道在家畜活动对草地生态系统凋落物分解和养分循环的影响问题上还存在诸多争议,有报道认为家畜活动有利于凋落物分解^[39],而另一些报道认为家畜活动会减缓物质循环速率^[40]。但较为公认的一个观点是,通过改变草地群落的物种组成,长期的家畜利用使与凋落物分解相关的植物功能特征组合改变,进而影响凋落物质量和分解特征^[41]。研究结果发现,虽然家畜的践踏压力在一定程度上能够加快凋落物的破碎程度,但是牦牛和藏羊重度利用下,植物盖度降低,同时还会使植物物理性质变差。因此,为保证草地生态系统健康可持续利用,有必要对践踏这一因素开展综合和系统性的研究,以确定不同放牧生态系统的践踏强度阈值,进而合理调控畜群结构,为我国制定放牧管理决策、实现天然草地的健康管理提供科学依据。

4 结论

垂穗披碱草凋落物损失率、N、P 和 K 含量在同等强度牦牛践踏处理下均大于藏羊处理,且凋落物损失率、N、P 和 K 含量在同等牦牛重度践踏处理下均高于藏羊处理。存放 1,2 和 3 个月与存放 13,14 和 15 个月的 C 和 K 均表现为释放模式,而 N 和 P 表现为富集模式。凋落物损失率、N 和 P 含量在藏羊轻度践踏处

理下显著低于重度践踏,牦牛践踏处理下的凋落物损失率、C、N、P、K 含量也显示相同规律。

参考文献:

- [1] 阚雨晨,王堃,王宇通,等.典型草原封育过程中植物凋落物的变化动态[J].草原与草坪,2011,31(4):25—29.
- [2] 李传龙.青藏高原东部高寒草甸垂穗披碱草凋落物分解对 UV-B 的响应[D].兰州:兰州大学,2010.
- [3] 张懿锂,李炳元,郑度.论青藏高原范围与面积[J].地理研究,2002,21(1):1—8.
- [4] 文晶,王一博,高泽永,等.北麓河流域多年冻土区退化草甸的土壤水文特征分析[J].冰川冻土,2013,35(4):929—937.
- [5] 刘晓琴,吴启华,李红琴,等.不同封育年限高寒草甸植被/土壤碳密度及净生态系统 CO₂ 交换量的比较[J].冰川冻土,2013,35(4):848—856.
- [6] 胡自治.青藏高原的草业发展与生态环境[M].北京:中国藏学出版社,2000.
- [7] 焦婷,赵生国,祁娟,等.放牧强度对温性荒漠草原土壤全氮和有机质的影响[J].草原与草坪,2012,32(5):22—25.
- [8] 林丽,曹广民,李以康,等.人类活动对青藏高原高寒矮嵩草草甸碳过程的影响[J].生态学报,2010,30(15):4012—4018.
- [9] 高清竹,段敏杰,万运帆,等.藏北地区生态与环境敏感性评价[J].生态学报,2010,30(15):4129—4136.
- [10] 徐长林,鱼小军,景媛媛,等.牦牛粪和藏羊粪浸提液对高寒草甸六种植物种子萌发特性的影响[J].生态学杂志,2014,33(11):2988—2994.
- [11] Schleuss P M, Heitkamp F, Sun Y, *et al.* Nitrogen uptake in an alpine Kobresia pasture on the Tibetan plateau: localization by 15 N labeling and implications for a vulnerable ecosystem[J]. Ecosystems, 2015, 18(6): 946—957.
- [12] 柴锦隆,徐长林,杨海磊,等.模拟践踏和降水对高寒草甸土壤物理特性和微生物数量的影响[J].草业学报,2017,26(2):30—42.
- [13] 李文,曹文侠,李小龙,等.放牧管理模式对高寒草甸草原土壤养分特征的影响[J].草原与草坪,2016,36(2):8—13.
- [14] 张艳博,罗鹏,孙庚,等.放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响[J].生态学报,2012,32(15):4605—4617.
- [15] 侯扶江,常生华,于应文,等.放牧家畜的践踏作用研究

- 评述[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 784—789.
- [16] 侯扶江, 任继周. 甘肃马鹿冬季放牧践踏作用及其对土壤理化性质影响的评价[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 486—495.
- [17] Adler P B, Hall S A. The development of forage production and utilization gradients around livestock watering points[J]. *Landscape Ecology*, 2005, 20(3): 319—333.
- [18] 徐长林. 高寒牧区不同燕麦品种生长特性比较研究[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 280—285.
- [19] 张健文. 牦牛和藏羊放牧及模拟践踏对天祝高寒草甸凋落物化学计量特征的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [20] 魏晓凤. 松嫩草地不同放牧强度下植物物种枯落物分解的变化规律研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- [21] Ayres E, Steltzer H, Wall B D H. Soil biota accelerate decomposition in high-elevation forests by specializing in the breakdown of litter produced by the plant species above them[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 97(5): 901—912.
- [22] Gholz H L, Wedin D A, Smitherman S M, *et al.* Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition [J]. *Global Change Biology*, 2010, 16(7): 751—765.
- [23] Cohen L, Hudson S R, Walden V P, *et al.* Meteorological conditions in a thinner Arctic sea ice regime from winter to summer during the Norwegian Young Sea Ice expedition(N-ICE2015)[J]. *Ecology*, 2009, 90(2): 441—451.
- [24] 杨海磊. 天祝高寒草甸牦牛和藏羊蹄压与践踏强度的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [25] 李云, 周建斌, 董燕捷, 等. 黄土高原不同植物凋落物的分解特性[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3309—3316.
- [26] 郑翠玲, 曹子龙, 王贤, 等. 围栏封育在呼伦贝尔沙化植被生态恢复中的应用[J]. 中国水土保持科学, 2005, 17(3): 78—81.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [28] 潘复静, 张伟, 王克林, 等. 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 335—343.
- [29] 段敏杰, 高清竹, 万运帆, 等. 放牧对藏北紫花针茅高寒草原植物群落特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3892—3900.
- [30] 高永恒. 不同放牧强度下高山草甸生态系统碳 N 分布格局和循环过程研究[D]. 成都: 中国科学院研究生院(成都生物研究所), 2007.
- [31] 张鹏莉. 放牧对青藏高原草地植被群落结构特征的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [32] 高永恒, 陈槐, 罗鹏, 等. 放牧强度对川西北高山草甸两个优势物种凋落物分解的影响[J]. 生态科学, 2007, 26(3): 193—198.
- [33] Chaichi M R, Saravi M M, Malekian A. Effects of livestock trampling on soil physical properties and vegetation cover(Case Study: Lar Rangeland, Iran)[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2005, 7(6): 904—908.
- [34] Aravi M M, Chaichit M R, Attaeian B. Effects of soil compaction by animal trampling on growth characteristics of *Agropyrum repens*(case study: Lar Rangeland, Iran)[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2005, 7(6): 909—914.
- [35] 杨志敏, 哈斯塔米尔, 刘新民. 放牧对内蒙古典型草原大针茅凋落物中土壤动物组成及其分解功能的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2864—2874.
- [36] Shariff A R, Grygiel B C E. Grazing intensity effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization[J]. *Journal of Range Management*, 1994, 47(6): 444—449.
- [37] Ping L, Huang J H, Han X G, *et al.* Litter decomposition in semiarid grassland of Inner Mongolia, China [J]. *Rangeland Ecology & Management*, 2009, 62(4): 305—313.
- [38] 张建文, 杨海磊, 徐长林, 等. 牦牛和藏羊夏季划区轮牧对高寒草甸 3 种植物凋落物分解的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(4): 732—742.
- [39] Luo C Y, Xu G P, Chao Z G, *et al.* Effect of warming and grazing on litter mass loss and temperature sensitivity of litter and dung mass loss on the Tibetan Plateau[J]. *Global Change Biology*, 2010, 16(5): 1606—1617.
- [40] Ritchie M E, Tilman D, Knops J M H. Herbivore effects on plant and nitrogen dynamics in oak savanna[J]. *Ecology*, 1998, 79(1): 165—177.
- [41] Garibaldi L A, Semmartin M, Chaneton E J. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in flooding Pampa grasslands[J]. *Oecologia*, 2007, 151(4): 650—662.

Effect of short-term simulated yak and Tibetan sheep trampling on litters loss rate and decomposition characteristics of *Elymus nutans*

ZHOU Yang-yang, ZHAMG Jian-wen, PAN Tao-tao,
XU Chang-lin, YU Xiao-jun

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University; Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education; Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability; Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to understand the differentiation effect of the yak and Tibetan sheep trampling intensity on the litter decomposition of alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau, the simulation experiment (simulated yak and Tibetan sheep trampling) was carried out in the alpine meadow in Tianzhu by using the litter bag method to measure the litter loss rate and stoichiometry (N, P, K and C contents) of *Elymus nutans*. The results showed that the loss rate of litter processed for 1, 2, 3, 13, 14 and 15 months under all trampling treatments showed an increasing trend. Under the same trampling strength, the litter loss rate of *Elymus nutans* stored for 1~15 months caused by yak was higher than Tibetan sheep. And the contents of litter N, P and K showed a same trend. The of litter loss rate, contents of N and P under Tibetan sheep light trampling treatment were significantly lower than that of heavy trampling treatment. The contents of C and K in Tibetan sheep light trampling treatment were significantly higher than that of heavy trampling treatment ($P < 0.05$). In addition, C and K of litter stored for 1, 2 and 3 months in 2015 and 13, 14 and 15 months in 2016 showed a release mode, while N and P of litter showed enrichment mode. It could be concluded that the livestock trampling promoted the litter decomposition, and the decomposition of the litter under the yak trampling was faster than that of Tibetan sheep.

Key words: simulated trampling; yak; Tibetan sheep; *Elymus nutans*; litter; loss rate; litter decomposition characteristics

版权声明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道,加强知识信息推广力度,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在 CNKI 中国知网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该著作权使用费及相关稿酬,本刊均用作为作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途,即不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意编辑部上述声明。