

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)4 - 423 - 08

牦牛和藏绵羊粪便降解过程中的养分动态变化

杜子银^{1,2}, 蔡延江¹, 王小丹^{1*}, 鲁旭阳¹, 鄢燕¹, 马星星^{1,2}

(1. 中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室, 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 放牧牲畜排泄物是青藏高原高寒草地生态系统的一种重要养分来源, 对于维持草地土壤肥力和植被生产力具有重要意义。采用尼龙网袋法监测了两种主要放牧牲畜牦牛和藏绵羊粪便干物质量及主要养分含量在降解过程中随时间的动态变化特征。结果表明, 牦牛和藏绵羊粪便在经过 93 d 的降解后, 干物质量分别减少了 30.9% 和 21.6%。到试验期末, 牦牛粪便全碳和全氮含量显著降低, 其值降至初始的 81.8% 和 79.2%, 而全磷和全钾的变化则不显著, 表明碳氮减少量较磷和钾更为明显。藏绵羊粪便全碳和全钾含量在试验期末降至初始的 87.7% 和 72.6%, 差异具有极显著性, 但全氮和全磷减少不显著。牲畜粪便在一个生长季内的降解和养分释放量较少可能使得其对土壤和植被产生的潜在生态环境效应具有滞后性。放牧过程中, 牧民少量捡拾牲畜粪使用作生活资料将有利于维持高寒草地生态系统的养分平衡和可持续发展。

关键词: 放牧草地; 牲畜粪便; 养分动态变化; 生态效应

中图分类号: S158.3, P962

文献标志码: A

牲畜粪便是天然草地放牧生态系统重要的养分来源, 粪便归还还被认为是一种重要的施肥措施和影响草地生态系统的主要途径之一, 对于增强土壤肥力和改变生态系统物质与能量循环具有显著的生态效应^[1-3]。牲畜粪便排泄能直接增加土壤营养元素(包括有机质、全氮、全磷和全钾等)含量^[4], 增强粪便斑块下土壤微生物活性而加快养分循环速率, 在较小尺度范围内显著改变草地土壤理化和生物学性质^[5-6]。此外, Williams 和 Haynes 等^[7]认为, 牛粪斑块会对植被造成短暂的窒息效应, 只有待其逐渐降解后才会对植被生产力增加和草地植被群落结构的改变产生重要作用。近年来, 随着畜牧业迅速发展, 与牲畜养殖规模不断扩大, 以氮素为主要养分形式^[8]的牲畜粪便在影响放牧草地土壤氮素迁移转化、温室气体排放和生态系统生产力等方面将表现

更为突出。

青藏高原高寒草地是我国重要的牧区之一, 是广大藏族同胞赖以生存的基础。其海拔高和分布面积广的草地生态系统在对高原水源涵养、水土保持、生物多样性保护和土壤固碳等方面起着不可替代的生态屏障作用。青藏高原可利用天然草地占全国可利用草地总面积的 43% 以上^[9], 高寒草原和高寒草甸是两种主要的草地类型, 其分布面积分别可占整个高寒草地面积的 32% 和 30%^[10], 是发展畜牧业的重要物质基础和天然生产基地。牦牛和藏绵羊是高寒草地的主要放牧牲畜, 据保守估计, 青藏高原牦牛超过 1 300 万头, 藏绵羊数量超过 3 000 万只^[9-11], 如果仅考虑放牧牲畜在植物生长季活动(以生长季 120 d 为计)以及依据前人研究的历史数据和两种牲畜的最小数量来计算, 那么, 牦牛和藏绵

收稿日期(Received date): 2013 - 12 - 27; 改回日期(Accepted): 2014 - 04 - 15。

基金项目(Foundation item): 中国科学院战略性先导科技专项(XDB03030505)、国家自然科学基金项目(41201235、41201096)和中科院成都山地所“一三五”项目(sds - 135 - 1203 - 02)资助。[Supported by "Strategic Priority Research Program" of the Chinese Academy of Sciences (XDB03030505), National Natural Science Foundation of China (41201235, 41201096) and the 135 Strategic Program of the Institute of Mountain Hazards and Environment (sds - 135 - 1203 - 02).]

作者简介(Biography): 杜子银(1988 -), 男, 重庆大足人, 硕士研究生, 主要从事高寒草地生态学研究。[Du Ziyin, male, born in Dazu, Chongqing, specialized in alpine grassland ecology.] E-mail: dzyimde@163.com

* 通信作者(Author for correspondence): 王小丹(1973 -), 男, 研究员。wxd@imde.ac.cn

羊每年通过粪便排泄的氮量分别可达 $9.0 \sim 23 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $0.2 \sim 3.0 \times 10^4 \text{ t}$ [12-14], 这使得粪便斑块成为氮素转化的重要场所[8]。随着高原放牧压力的不断加大, 粪便排泄物归还引起的温室气体排放量增大也可能会比以往更为显著[15-16]。

目前有关研究多集中于探讨农场、人工草地生态系统或温带草原牲畜排泄物降解对土壤环境和植被生产力方面的影响, 而涉及高寒区天然草地放牧生态系统牲畜粪便降解的养分动态变化特征及其关键影响因素等的研究报道还相对较少。本研究通过分析藏北高原牦牛和藏绵羊粪便在降解过程中的养分动态特征来揭示二者在高寒条件下的降解规律及其对环境变化的不同响应, 以期探索牲畜粪便降解的特殊生态环境效应、改善放牧模式和加强放牧牲畜排泄物的科学管理及合理利用提供初步的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于西藏自治区境内的申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站 ($30^{\circ}57'N$, $88^{\circ}42'E$, 海拔 4 675 m)。当地气候的主要特征表现为气压低, 风沙大, 寒冷干燥, 无霜期短, 属典型的高原亚寒带半干旱季风气候区, 年日照时数为 2 915.5 h, 霜期持续天数达 279.1 d。年均气温为 $0^{\circ}C$, 年均降水量为 300 mm, 且绝大部分降水发生在 5—9 月。天然草地生态系统中高寒草甸植被以矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 和棘豆 (*Oxytropis*) 为主, 覆盖度约占 70%, 高寒草原植被以紫花针茅 (*Stipapurpurea*) 和红景天 (*Rhodiolarosea*) 等为主, 覆盖度 $< 20\%$ [17], 都具有脆弱性和敏感性的突出特点。植被生长季草地利用以放牧牦牛和藏绵羊为主, 而非生长季受降雪覆盖和草地土壤冻融等的影响致使植被生产力低下甚至枯萎死亡, 很难再满足野外放牧的需要。

1.2 实验设计

试验于 2013-07-03—10-04 进行 (图 1)。通过模拟野外粪便斑块实际特征, 将新鲜牦牛粪便 (Yakdung, YD) 和藏绵羊粪便 (Tibetan sheep dung, SD) 斑块用孔径大小为 1.5 mm 的尼龙网包裹起来随机布设于草地上, 在放置后的 0 (7 月 3 日) d、14 d、44 d、61 d 和 93 d 共进行 5 次取样。其中每个牛粪斑块鲜重 1 200 g (含水量 83.3%), 粪斑直径 19

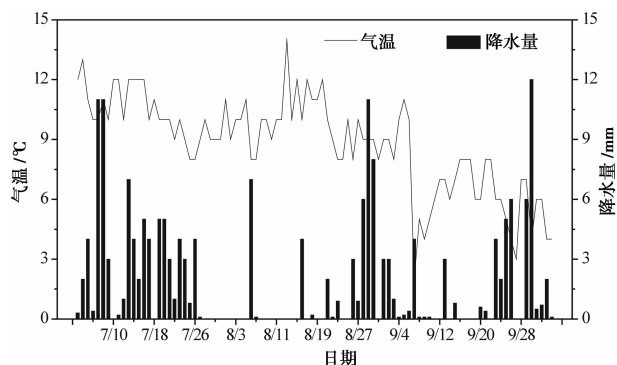


图 1 申扎县 2013-07-03—2013-10-04
日均气温与降水量示意图

Fig. 1 Daily average temperature and precipitation of Xainza County from July 3 to October 4 in 2013

cm, 厚度 4 cm; 每个羊粪斑块鲜重 60 g (含水量为 61.7%), 模拟长度 20 cm, 宽度 11 cm, 每个处理设 3 个重复。每次均在 3 个重复处理中取一定量的粪便样品, 共取得实验样品数 30 份 (牦牛和藏绵羊粪便各 15 份)。将每次采集的两种粪便样品装于自封袋内并即刻置于冷冻箱内进行低温储存, 直至收集完所需粪便样品后迅速运回实验室备用。待将所有样品风干、磨碎后过 100 目筛, 称取一定量的过筛样品测定粪便含水量、全碳、全氮、全磷和全钾含量。

1.3 粪便含水量和养分含量测定

将粪便置于 $70^{\circ}C$ 烘箱中烘 48 h 后测定粪便含水量。粪便全碳含量测定采用重铬酸钾-外加热法, 全氮测定采用半微量开氏法, 全磷测定采用氢氟酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法, 全钾测定采用火焰光度法。

1.4 数据处理和分析

实验数据用 Origin 8.0 绘图, 数据分析采用统计分析软件 SPSS 18.0。采用 LSD 单因素方差分析对两种粪便在不同降解时段内干物质量和各主要养分含量的变化进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 粪便干物质量变化

由图 2 可知, 牦牛和藏绵羊粪便干物质量在试验期内都具有随着排放时间增长而不断减小的总体趋势, 且试验前期的粪便降解速率普遍大于后期, 干物质量在整个试验期内均极显著减少 ($p < 0.01$)。新鲜牛粪和羊粪经过 14 d 降解后, 干物质量分别减

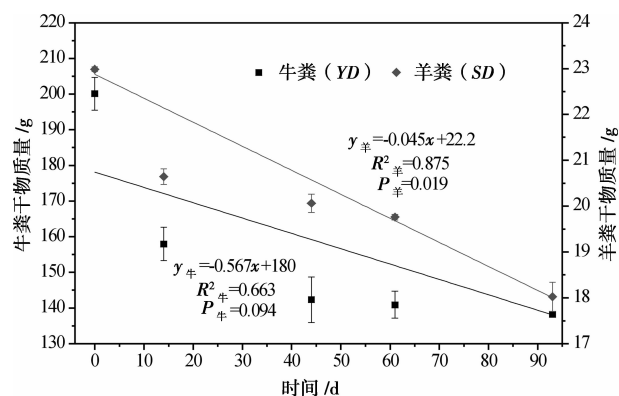


图2 牦牛和藏绵羊粪便干物质质量随时间变化

Fig. 2 Temporal variation of dry matter of yak and Tibetan sheep dung

少了21.0%和10.2%,与初始相比差异均具有极显著性($p < 0.01$);经过44 d降解后,牛粪干物质质量降为初始的71.1%,仅在前14 d的基础上减少了7.9%,但第44 d干物质质量与第14 d相比具有显著性差异($p < 0.05$),而与第61 d和第93 d差异不显著。由此可见,牛粪干物质质量的减少在前44 d中表现最为突出,而在之后的变化不明显。与牛粪不同,羊粪干物质质量在61~93 d表现出较14~61 d更大幅度的减少。第61 d时,羊粪干物质质量降至初始的85.9%,仅在第14 d和第44 d的基础上分别减少了3.9%和1.4%,与第44 d差异不显著,而与第0、14和93 d均具有极显著差异($p < 0.01$)。

2.2 粪便全碳、全氮、全磷和全钾含量的变化

由图3可知,牛粪在93 d降解过程中,全碳含量始终表现出持续减少的趋势,总量由初始的320.8 g/kg最终降至262.4 g/kg,两者具有极显著性差异($p < 0.01$)。其中,在0~61 d的三个降解时

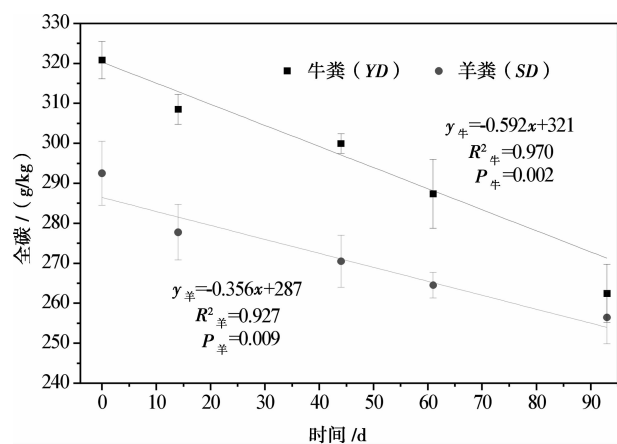


图3 牦牛和藏绵羊粪便全碳随时间变化

Fig. 3 Temporal variation of total carbon of yak and Tibetan sheep dung

段内全碳含量的差异均不显著($p > 0.05$),而仅在61~93 d表现为显著减少。此外,在整个试验期内,羊粪全碳含量由初始的292.5 g/kg降为256.4 g/kg,总量减少了12.3%,具有极显著性差异($p < 0.01$)。与牛粪不同的是,羊粪全碳含量在试验期内各个降解时段的差异均未达到显著性水平($p > 0.05$),而仅由于0~44 d的累计降解导致初始的全碳含量与第44 d及之后表现出显著性差异。由此可见,羊粪全碳含量的总体变化较牛粪稍平缓。

由图4可知,牦牛粪便经过14 d快速降解后,全氮降为初始的94.1%,而后经过30 d的微弱变化后再次经历一个快速降解时段,即在44~93 d牛粪表现出较前期更快的降解速率。在0~61 d三个降解时段内全氮的减少均不明显,而到第93 d时,全氮含量与第61 d具有显著性差异($p < 0.05$),且与第0 d、14 d和44 d相比具有极显著差异($p < 0.01$),表明61~93 d是整个试验期内全氮显著减少的重要阶段。然而,藏绵羊粪便经过93 d的降解后全氮含量并未发生明显变化,仅由初始的17.4 g/kg最终降至16.7 g/kg,两者无显著性差异($p > 0.05$)。且各个降解时段的全氮减少量介于0.3%~2.1%,各取样时间点的粪便全氮含量差异均无显著性($p > 0.05$)。可见,藏绵羊粪便全氮在整个试验期内降解变化极为缓慢,而牦牛粪便全氮的降解程度却较藏绵羊大得多。

由图5可知,牦牛和藏绵羊粪便全磷含量随时间具有较相似的变化趋势。其中,牛粪经过14 d降解后,全磷含量由初始的4.44 g/kg降为4.41 g/kg,

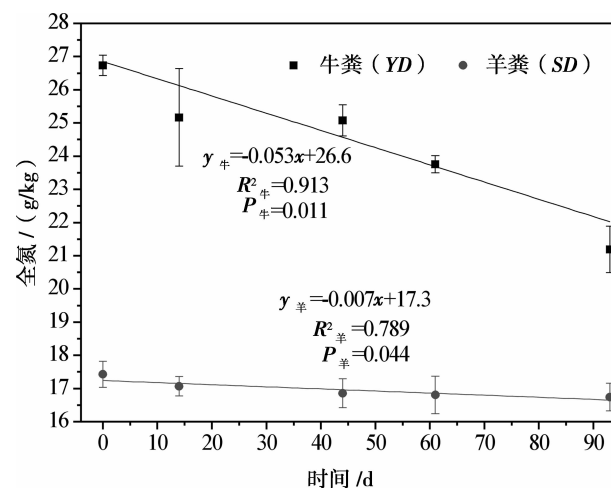


图4 牦牛和藏绵羊粪便全氮随时间变化

Fig. 4 Temporal variation of total nitrogen of yak and Tibetan sheep dung

两者差异不显著($p > 0.05$)。而在此之后,牛粪全磷含量先经过 14 ~44 d 的增加后呈现明显减少趋势。即到第 44 d 时全磷含量达到最大值 4.57 g/kg,分别较初始和第 14 d 的含量增加了 2.9% 和 3.6%。到第 61 d 和 93 d 时,牛粪全磷分别较初始减少了 4.3% 和 5.5%,较第 44 d 最大含量减少了 7.0% 和 8.1%,但各取样时间点的粪便全磷含量均无显著性差异($p > 0.05$)。而羊粪全磷含量在整个试验期内却表现为持续下降趋势,经过 14 d、44 d、61 d 和 93 d 降解后,全磷含量降至 3.59 g/kg、3.58 g/kg、3.44 g/kg 和 3.36 g/kg,分别较初始减少了 3.4%、3.7%、7.5% 和 9.7%,各取样时间点的羊粪全磷含量也均无显著性差异($p > 0.05$),这与牦牛粪便全磷含量的结论相同。表明牛粪和羊粪全磷在试验期内的降解变化均很微弱,这可能与尼龙网袋包裹下减弱了植被对磷的吸收有关。

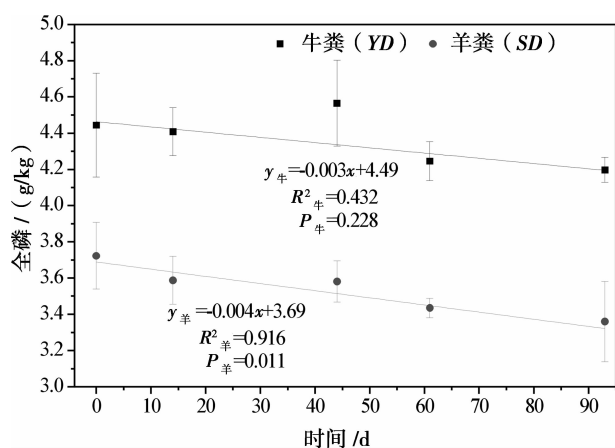


图 5 牦牛和藏绵羊粪便全磷随时间变化
Fig. 5 Temporal variation of total phosphorus of yak and Tibetan sheep dung

由图 6 可以看出,牛粪全钾含量随粪便排泄时间的增长而持续减少,但羊粪全钾含量却呈现先减少后缓慢增加的趋势。经过 14 d、44 d、61 d 和 93 d 降解后,牛粪全钾含量在初始 4.16 g/kg 的基础上分别减少了 4.3%、5.0%、10.1% 和 10.3%,其中,0 ~14 d 的减少幅度与 44 ~61 d 相当,14 ~44 d 减少幅度与 61 ~93 d 大致相当,各取样时间点的牛粪全钾含量均无显著性差异($p > 0.05$)。而羊粪全钾含量在前 14 d 降解中表现为极显著减少($p < 0.01$),由初始的 4.96 g/kg 迅速降至 3.22 g/kg,减少量达 35.1%。再经过 30 d 降解后,全钾含量仅较第 14 d 减少了 1.9%,即第 44 d 与第 14 d 全钾含量差异不

显著($p > 0.05$)。然而,到第 61 d 和 93 d 时,羊粪全钾含量分别在第 44 d 的基础上增加了 7.0% 和 13.9%,达到 3.38 和 3.60 g/kg,增加后的全钾含量与第 14 和 44 d 均无显著性差异($p > 0.05$),而与初始具有极显著差异($p < 0.01$)。由此可见,羊粪全钾含量在试验期内的动态变化幅度较牛粪大,且主要在前 14 d 发生大幅度减少,而后表现出较牛粪更为复杂的钾素变化规律。

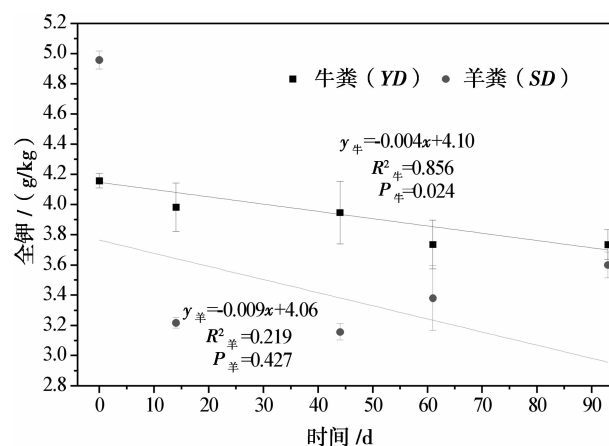


图 6 牦牛和藏绵羊粪便全钾随时间变化
Fig. 6 Temporal variation of total potassium of yak and Tibetan sheep dung

2.3 牦牛和藏绵羊粪便降解的干物质质量和养分动态变化规律

牦牛和藏绵羊粪便在 93 d 的试验期内干物质质量的变化趋势和减少幅度大致相当(图 2,表 1)。在前 61 d 的降解过程中,干物质质量均呈现一致的减少趋势,且主要体现为被排泄后 14 d 均极显著减少($p < 0.01$),而牛粪干物质质量在 14 ~44 d 显著减少($p < 0.05$),而 44 ~93 d 两个降解时段的差异均未达到显著性水平;羊粪干物质质量在 14 ~61 d 两个降解时段的减少不明显,但在 61 ~93 d 极显著减少($p < 0.01$),表明可能是该时段的降水高峰使得残留的羊粪再次发生快速降解(图 1)。

牦牛和藏绵羊粪便全碳、全氮含量在试验期内总体均表现为随时间的增长而不断减少,且牛粪全碳和全氮在试验初始与结束时的含量均具有极显著差异($p < 0.01$),而羊粪全碳含量在整个试验期内极显著减少($p < 0.01$),但全氮含量变化不明显。此外,除 14 ~44 d 牛粪全磷含量略有增加外,全磷和全钾含量随时间减少的总体趋势与全碳和全氮基本一致,且初始与结束时牛粪全磷与全钾含量均无

表 1 牦牛和藏绵羊粪便干物质量与各养分含量随时间的变化
Table 1 Temporal variation of dry matter and nutrient content of yak and Tibetan sheep dung

粪便类型 Type of dung	测定指标 Index	降解百分率 Percentage of degradation /%			
		14	44	61	93
牦牛粪便 Yak dung	干物质量 Dry matter	21.0	28.9	29.6	30.9
	全碳 Total carbon	3.9	6.5	10.4	18.2
	全氮 Total nitrogen	5.9	6.2	11.2	20.8
	全磷 Total phosphorus	0.7	-2.9	4.3	5.4
	全钾 Total potassium	4.3	5.0	10.1	10.3
绵羊粪便 Tibetan sheep dung	干物质量 Dry matter	10.2	12.7	14.0	21.6
	全碳 Total carbon	5.0	7.5	9.6	12.3
	全氮 Total nitrogen	2.1	3.3	3.6	4.0
	全磷 Total phosphorus	3.5	3.8	7.5	9.7
	全钾 Total potassium	35.1	36.3	31.9	27.4

显著性差异($p > 0.05$)。而羊粪全磷含量在各取样时间点的差异均不显著,表明全磷在整个试验期内的降解损失很少或受到较大程度抑制;羊粪全钾在降解初期的迅速减少与试验后期的缓慢增加反应出其随时间的变化与全碳、全氮和全磷具有显著差别,这可能与羊粪钾素自身特性和影响粪便降解的因素关系密切。

3 讨论

3.1 粪便降解和养分变化的影响因素

牲畜粪便降解过程通常会受到生物和非生物因子的影响,且不同环境条件下二者对粪便降解的影响程度也有所差别,此外,不同牲畜粪便在形态特征和理化性质等方面固有的差异也可能是导致粪便降解规律变化各异的一个主要原因^[2]。本试验发现,牦牛和藏绵羊粪便干物质量和主要养分全碳、全氮、全磷和全钾均在被排泄后的前 14 d 内快速减少,而在此之后的变化总体趋于平缓(图 2 ~ 图 6)。一方面可能是由于前 14 d 平均气温为 11.3 ℃,较之后三个降解时段的 9.77 ℃、9.53 ℃ 和 6.31 ℃ 偏高(图 1),这可能增强新鲜粪便及土壤微生物活性,并使其通过自身发酵和微生物的氨化、硝化和反硝化等生物化学反应过程产生的 CO₂、CH₄ 和 N₂O 成为粪便碳氮损失的一个重要部分^[18],这也可能会使得粪便排泄物成为草地生态系统一种重要的温室气体排放源^[16]。另一方面,水分被认为是对粪便降解最有影响的非生物因子,粪便中发生的生物学过程与

水分含量密切相关^[19-20]。试验中仅前 14 d 累计降水量达 54.9 mm(图 1),分别占 7 月和 93 d 试验期降水总量的 65.5% 和 30.7%,这部分集中降水通过稀释粪便,改变粪便质地和微生物活性与群落结构,可能是加快粪便物理分解和发酵的重要原因。同时,新鲜粪便自身高含水量能吸引大量分解者参与粪便的分解和破碎^[21],对于干物质量和主要养分动态变化均可能发挥作用。相关研究还证实,在 10 ℃ 时经过 3 周降解的粪便中氮没有明显改变,而当温度升至 20℃ 时有机质减少了 8%,大约 10% 的有机氮会转化成 NH₃^[22]。而增加降水能在一定程度上对粪便含水量、分解量和全氮全磷含量产生影响,反之将极大阻碍其分解进程^[23],这与本试验结果特征相近。而关于气温与降水对粪便降解的贡献大小及其差异性如何则有待进一步研究加以阐释。随着粪便年龄增大和季节更替,粪便逐渐变得干燥,活性部分先降解导致残留的惰性物质降解速率越来越慢,使得干物质量减少趋势逐渐减弱^[24-25]。尽管本试验后期降水量与初期相当,但大幅度降温也将极大抑制各种分解者的生理活性(图 1),从而减小主要养分的动态变化。其中,羊粪干物质量在 61 ~ 93 d 再次快速减少,可能是由于羊粪呈细颗粒状,被排泄到草地上初期受到生长季茂盛的植被及被啃食后残根的覆盖等影响导致 14 ~ 61 d 降解缓慢。到 9 月高寒草地植被大多枯黄时,残留羊粪出露地表,再加之试验后期降水(61 ~ 93 d 累计降水量 49.1 mm,占 93 d 降水总量的 27.4%,仅次于前 14 d 降水量)淋溶^[20]、大风吹蚀等影响均可能是导致干物质量迅

速减少的原因。羊粪全钾在前 14 d 迅速减少可能是由于期间相对较高的气温和降水的协同效应(图 1),使得粪便全钾随降水入渗到土壤中^[4],而后又通过微生物等作用重新反馈进入残留的粪便,这可能是导致全钾含量后期增加的原因。总体而言,牦牛和藏绵羊粪便降解速率和养分释放与其年龄存在负相关关系,干物质量与主要养分动态变化特征与何奕忻^[26]和吴新卫^[21]等的研究结果较为一致。

3.2 粪便降解的不确定性分析

本研究中,牦牛和藏绵羊粪便在试验前后期的干物质量及养分动态变化规律相似,但由于试验初期气温和降水较末期总体偏高(图 1),导致试验前期养分快速降解流失,而后期表现出养分的缓释特征^[27-29]。整个试验期内,牛粪全磷和全钾含量变化较全碳与全氮小,羊粪全氮和全钾含量变化较全碳和全磷小,可见粪便氮、磷和钾受到天气和气候变化等的影响较小,而可能与尼龙网对粪便的包裹减少了植被对养分的吸收和防止了粪食性昆虫与鸟类等的破坏关系密切。经过 93 d 降解后,牦牛和藏绵羊粪便干物质量分别减少了 30.9% 和 21.6%,主要养分全碳、全氮、全磷和全钾的减少量仅介于 4% ~ 27.4%,由此可见,牛粪和羊粪在一个生长季内的降解及养分释放量是相当少的,如果以 Weeda 曾用的将粪便降解达到 75% 所需的时间作为衡量其基本完全降解的标准,则可以推测,青藏高原高寒草地上牛粪和羊粪完全分解大约需要 3 ~ 5 a 时间,这与吴新卫等^[21]的研究结果一致。这种少量的降解可能是由于尼龙网包裹的粪便未与土壤直接接触,导致土壤微生物对粪便中养分解物质的降解作用微弱。同时,被尼龙网包裹的粪便在降水淋溶下受到雨水的机械打击和破坏也在一定程度上较弱,都可能是除温度和降水外导致粪便干物质量与养分变化量小的原因。

鉴于粪便养分释放是一个缓慢的过程,在对放牧草地牦牛和藏绵羊粪便的管理和利用上应当充分考虑其对草地土壤和植被的滞后效应。在青藏高原高寒草地上,从维持高寒放牧草地养分平衡、生态系统稳定和牧民生计等角度来看,既要保证一定量的养分归还,也要满足牧民对牲畜粪便这种主要生活资料的需要,就必须改善放牧模式和优化牧区产业结构,引导牧民适时少量捡拾牲畜粪便,并大力推进农村传统能源替代工程。这既是实现草地科学管理和区域可持续发展的需要,也是构建高寒区生态安

全屏障以维持生态系统平衡的重要内容。

4 结 论

牦牛和藏绵羊粪便返还是维持高寒草地生态系统养分平衡和植被生产力的关键过程。特别是牛粪未经充分降解即被牧民大量捡拾和利用将导致草地土壤日趋贫瘠化,并极大地削弱植被生产力,从而对区域生态系统稳定和服务功能将造成严重威胁。牦牛和藏绵羊粪便在试验前期气温和降水量均较高时降解速率总体快于后期,干物质量和主要养分全碳、全氮、全磷和全钾在被排泄后粪便含水量最高的时段显著减少,且随着粪便质量变差及降解速率减小,其养分释放能力逐渐减弱。研究区域高寒干旱环境条件突出,牦牛和藏绵羊粪便在一个生长季内的降解和养分释放量仅为其初始的 1/5 ~ 3/10,要达到基本完全分解的水平通常需要 3 ~ 5 a 时间,可见其产生增强土壤肥力和植被生产力的生态效应会具有明显的滞后性。另外,降水淋溶、大风吹蚀是影响高寒草地牲畜粪便降解的关键非生物因素,而昆虫、蝇类、鸟类及微生物分解者等的影响通常在粪便质量较好时表现突出,且呈斑块状的牦牛粪便较颗粒状的藏绵羊粪便更易受到破坏而发生降解^[21]。综上所述,鉴于当前研究多侧重于探讨小尺度农场及人工草地生态系统等牲畜粪便降解及其对土壤和植被的影响,不足以满足景观尺度上定量化分析粪便降解产生潜在生态环境效应的需要。未来研究应重点关注高寒复杂气候环境及放牧活动影响下牲畜粪便的降解变化规律及其对全球环境变化的响应,以便为进一步评估高寒植被生态系统生产力及其服务功能提供理论依据。

参考文献 (References)

- [1] Aarons S R, O'Connor C R, Hosseini H M, et al. Dung pads increase pasture production, soil nutrients and microbial biomass carbon in grazed dairy systems [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 84(1): 81-92
- [2] He Yixin, Sun Geng, Luo Peng, et al. Effects of dung deposition on grassland ecosystem: A review [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(2): 322-328 [何奕忻, 孙庚, 罗鹏, 等. 牲畜粪便对草地生态系统影响的研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2009, 28(2): 322-328]
- [3] Moe S R, Wegge P. Effects of deposition of deer dung on nutrient redistribution and on soil and plant nutrients on intensively grazed grasslands in lowland Nepal [J]. *Ecological Research*, 2007, 23

- (1): 227–234
- [4] Jiang Shicheng, Zhou Daowei. The impact of cattle dung deposition on grasslands in the Songnen Grassland [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(4): 30–35 [姜世成, 周道玮. 牛粪堆积对草地影响的研究 [J]. 草业学报, 2006, 15(4): 30–35]
 - [5] Wang Changhui, Xing Xuerong, Han Xingguo. Advances in study of factors affecting soil N mineralization in grassland ecosystems [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2184–2188 [王常慧, 邢雪荣, 韩兴国. 草地生态系统中土壤氮素矿化影响因素的研究进展 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2184–2188]
 - [6] Willott S J, Miller A J, Incoll L D, et al. The contribution of rabbits (*Oryctolagus cuniculus* L.) to soil fertility in semi-arid Spain [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 31(5): 379–384
 - [7] Williams P H, Haynes R J. Effect of sheep, deer and cattle dung on herbage production and soil nutrient content [J]. *Grass and Forage Science*, 1995, 50(3): 263–271
 - [8] Haynes R J, Williams P H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem [M]. *Advances in Agronomy*, 1993, 49: 119–199
 - [9] Zhao Youzhang. Development countermeasure of sheep industry in Qinghai–Tibet Plateau [J]. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2006, (8): 9–10 [赵有璋. 青藏高原羊产业发展对策 [J]. 中国畜禽种业, 2006, (8): 9–10]
 - [10] Geng Yan, Wang Yonghui, Yang Kuo, et al. Soil respiration in Tibetan alpine grasslands: belowground biomass and soil moisture, but not soil temperature, best explain the large-scale patterns [J]. *PLoS One*, 2012, 7(4): 1–12
 - [11] Yao Jun, Yang Bohui, Yan Ping, et al. Analysis on habitat variance and behavior of *Bosgruiens* in China [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(2): 124–128 [姚军, 杨博辉, 闫萍, 等. 中国野牦牛栖息地环境及种群行为分析 [J]. 草业学报, 2006, 15(2): 124–128]
 - [12] van der Weerden T J, Luo Jiafa, de Klein C A M, et al. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2011, 141(3–4): 426–436
 - [13] Whitehead D C. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships [M]. CABI Publishing. Wallingford, UK. 2000.
 - [14] Hoogendoorn C J, Betteridge K, Costall D, et al. Nitrogen concentration in the urine of cattle, sheep and deer grazing a common ryegrass/cocksfoot/white clover pasture [J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2010, 53: 235–243
 - [15] Lin Xingwu, Wang Shiping, Ma Xiuzhi, et al. Fluxes of CO₂, CH₄, and N₂O in an alpine meadow affected by yak excreta on the Qinghai–Tibetan plateau during summer grazing periods [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(4): 718–725
 - [16] Cai Yanjiang, Wang Xiaodan, Ding Weixin, et al. Potential short-term effects of yak and Tibetan sheep dung on greenhouse gas emissions in two alpine grassland soils under laboratory conditions [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49(8): 1215–1226
 - [17] Lu Xuyang, Fan Jihui, Yan Yan, et al. Soil water soluble organic carbon under three alpine grassland types in Northern Tibet, China [J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2011, 6(9): 2066–2071
 - [18] Chen Weiwei, Wolf B, Brüggemann N, et al. Annual emissions of greenhouse gases from sheepfolds in Inner Mongolia [J]. *Plant and Soil*, 2011, 340(1–2): 291–301
 - [19] Dickinson C H, Underhay V S H, Ross V. Effect of season, soil fauna and water content on the decomposition of cattle dung pats [J]. *New Phytologist*, 1981, 88(1): 129–141
 - [20] Dickinson C H, Craig G. Effects of water on the decomposition and release of nutrients from cow pats [J]. *New Phytologist*, 1990, 115(1): 139–147
 - [21] Wu Xinwei. Ecological function and environmental control of decomposer within cattle dung in the alpine meadow of northwestern Sichuan Province, China [D]. Chengdu: Chengdu institute of biology, Chinese Academy of Sciences, 2010: 33–38 [吴新卫. 川西北高寒草甸牛粪分解者的生态功能及其环境响应 [D]. 成都: 中国科学院成都生物研究所, 2010: 33–38]
 - [22] Whitehead D C, Raistrick N. The volatilization of ammonia from cattle urine applied to soils as influenced by soil properties [J]. *Plant and Soil*, 1993, 148(1): 43–51
 - [23] Wu Xinwei, Li Guoyong, Sun Shucun. Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of north-west Sichuan Province, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(23): 28–36 [吴新卫, 李国勇, 孙书存. 降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 [J]. 生态学报, 2011, 31(23): 28–36]
 - [24] Holter P. Resource utilization and local coexistence in a guild of Scarabaeid dung beetles (*Aphodius* spp.) [J]. *Oikos*, 1982, 39(2): 213–227
 - [25] Menéndez R, Gutiérrez D. Altitudinal effects on habitat selection of dung beetles (Scarabaeoidea: Aphodiidae) in the Northern Iberian Peninsula [J]. *Ecography*, 1996, 19(3): 313–317
 - [26] He Yixin. Impact of yak dung on soil nutrient of grassland in the eastern Qinghai–Tibetan Plateau [D]. Chengdu: Chengdu institute of biology, Chinese Academy of Sciences, 2009: 27–30 [何奕忻. 牦牛粪便对青藏高原东部高寒草甸土壤养分系统的影响 [D]. 成都: 中国科学院成都生物研究所, 2009: 27–30]
 - [27] Kazuhira Y, Hdeaki K, Takuro K, et al. Nitrogen mineralization and microbial populations in cow dung, dung balls and underlying soil affected by paracoprid dung beetles [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23(7): 649–653
 - [28] Aarons S R, O'Connor C R, Gourley C J P. Dung decomposition in temperate dairy pastures. I. Changes in soil chemical properties [J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2004, 42(1): 107–114
 - [29] Li Bo, He Yixin, Wang Zhiyuan, et al. Decomposition process and scientific management of yak dung on alpine meadow in the eastern Qinghai–Tibet Plateau [J]. *Pratacultural Science*, 2012, 29(8): 1302–1306 [李博, 何奕忻, 王志远, 等. 青藏高原东部高寒草甸牦牛粪便的分解过程和科学管理 [J]. 草业科学, 2012, 29(8): 1302–1306]

Temporal Variation of Yak and Tibetan Sheep Dung Nutrients from an Alpine Steppe in Northern Tibet, China

DU Ziyin^{1,2}, CAI Yanjiang¹, WANG Xiaodan¹, LU Xuyang¹, YAN Yan¹, MA Xingxing^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Mountain Environment Evolution and Regulation, Chinese Academy of Sciences; Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Grazing livestock excreta in natural grassland is regarded as an important source of nutrients for alpine grassland ecosystem in Qinghai – Tibet Plateau, which may play a critical role in maintaining soil fertility and vegetation productivity of grazed grassland. This paper monitored the temporal variation of dry matter and main nutrients of yak and Tibetan sheep dung by using the nylon-mesh-bag method. The results indicated that dry matter of yak and Tibetan sheep dung decreased by 30.9% and 21.6% after the decomposition of 93 days, respectively. Total carbon and total nitrogen contents of yak dung reduced to 81.8% and 79.2% of the initial values, respectively, while no significant differences were observed for the contents of total phosphorus and total potassium between the initial and final sampling time, implying that the losses of total carbon and nitrogen of yak dung were more obvious than total phosphorus and potassium. Total carbon and total potassium contents of Tibetan sheep dung had dropped to 87.7% and 72.6%, respectively, but similar values were found for the initial and final contents of total phosphorus and total potassium. It can be concluded that the little decomposition and nutrients returns of livestock dung in one growing season may lead to a series of potential ecological environment effects on soil and vegetation act as prominent hysteresis quality. We suggest that herders use livestock excrement as necessities timely and small quantity are beneficial to assure the nutrients balance and sustainable development of alpine pasture ecosystem.

Key words: grazed grasslands; livestock dung; dynamical changes of nutrients; ecological effect