

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2013-0130

畜粪沉积对贵州高原黑麦草+白三叶 草地养分和植被构成的影响

孙 红¹, 于应文¹, 马向丽², 牟晓明¹, 张红梅¹, 廖加法³, 侯扶江¹

(1. 草地农业生态系统国家重点实验室 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020;

2. 云南农业大学动物科学技术学院, 云南 昆明 650201; 3. 贵州省威宁县贵州高原草地实验站, 贵州 威宁 553100)

摘要:2011年8月,对贵州高原黑麦草(*Lolium perenne*) + 白三叶(*Trifolium repens*)草地的牛粪和羊粪沉积处和对照处土壤和牧草矿质成分、牧草营养价值、植被构成和牧草被家畜采食的程度进行定量分析,为草地管理提供实践依据。结果表明,主要矿质元素含量在土—草之间差异很大,因矿质种类和家畜种类不同而异;畜粪沉积降低或消除 Na、K 和 Mn 在土—草之间的正相关性,促进 Cu 和 Zn 在土—草之间正相关的形成。畜粪沉积对植被在植物种群和群落水平的影响随畜粪类型和分解阶段不同而异,粪沉积促进鸭茅(*Dactylis glomerata*)和黑麦草生长,抑制白三叶生长,使牧草高度、生物量和黑麦草生殖枝率提高,整体营养价值下降。牛粪沉积对植被的影响比羊粪更明显。家畜对粪沉积处黑麦草和鸭茅的采食均低于对照,牛对粪沉积处植物的弃食程度比羊的高。草地管理中,实行牛、羊混牧,可提高草地利用率。

关键词:贵州高原;混播草地;粪沉积;土草养分;植被构成;采食

中图分类号:S812.2;S541⁺.206.2

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2014)03-0488-11^{*} 1

Effects of animal dung deposition on grassland nutrients and botanical composition in mixed *Lolium perenne* and *Trifolium repens* pasture in Guizhou plateau

SUN Hong¹, YU Ying-wen¹, MA Xiang-li², MOU Xiao-ming¹,
ZHANG Hong-mei¹, LIAO Jia-fa³, HOU Fu-jiang¹

(1. State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3. Guizhou Plateau Grassland Experimental Station, Weining 553100, China)

Abstract: The mineral elements of soils and herbage, nutritional values, botanical composition and herbage defoliation in dung deposition and control plots in mixed *Lolium perenne* and *Trifolium repens* pasture in Guizhou plateau were quantitatively monitored and systemically analyzed in August 2011. The results indicated that the difference of mineral elements contents between soils and herbage was great and varied with different elements and excretion types. The dung deposition of grazing animals decreased or eliminated the positive correlation between soils and herbage in Na, K, and Mn contents, whereas the dung deposition promoted positive correlation between soils and herbage in Cu and Zn contents. The effects of grazing animal dung deposition on botanical composition of grassland in plant population and community levels varied with patch types and different decomposing stages. Grazing animals dung deposition could promote

收稿日期:2013-04-25 接受日期:2013-08-27

基金项目:教育部留学回国人员 45 批科研启动基金;教育部“草地农业系统耦合与管理”创新团队;贵州省优秀教育人才省长专项资金项目(2011-17、2010-101)

第一作者:孙红(1987-),女,甘肃兰州人,在读硕士生,研究方向为草地生态学。E-mail:sunh11@lzu.edu.cn

通信作者:于应文(1969-),男,甘肃永登人,副教授,博士,研究方向为草地生态学。E-mail:yuyw@lzu.edu.cn

tiller and growth of *L. perenne* of *D. glomerata*, inhibit growth of *T. repens*, increase height and biomass of herbage and reproductive shoots of *L. perenne*, and decrease the nutritional values of herbages. The effect of cow dung on botanical composition was more obvious than that of sheep dung. The defoliation of grazing animals for *L. perenne* and *D. glomerata* in dung deposition plots was lower than that in controls. The rejected defoliation level of cow in dung deposition plots was higher than that of sheep. The results suggested that the mixed grazing with sheep and cattle could reduce the herbage waste in dung deposition sites and improve the utilization rate of grassland in grassland practical management.

Key words: Guizhou plateau; mixed pasture; dung depositon; nutrients of soils and herbages; botanical composition; defoliation

Corroesponding author: YU Ying-wen E-mail: yuyw@lzu. edu. cn

放牧作为草地利用和管理的最普通方式之一,通过家畜的采食、践踏和排泄而改变草地组分,引起植被斑块,导致草地异质性。其中,家畜排泄物沉积作为一种重要的土壤施肥措施,类似于无机氮、磷等矿质元素的添加,通过其与植物的互作,被草地植物吸收,提高草地生产力,在草地生产力维持中起重要作用^[1]。黑麦草(*Lolium perenne*)+白三叶(*Trifolium repens*)草地是世界温带地区主要放牧地和割草地类型,自 20 世纪 80 年代以来,在我国南方喀斯特地区的草山草坡广为建植,已成为南方喀斯特山区草地畜牧业主要生产基地之一^[2-3]。由于黑麦草+白三叶草地的生产力和家畜承载力高,其家畜排泄物覆盖草地面积也较大,达 40%~50%^[4-5],影响草地生产力和家畜采食。因此,家畜排泄物沉积对黑麦草+白三叶放牧草地的作用不容忽视。

粪作为排泄物主要形式之一,常含大量矿质元素^[6],具有对草地作用时间长,影响明显的特点^[2,7];虽然粪斑具特殊气味,粪沉积初期放牧家畜拒食粪斑处植物而降低牧草利用率,但随粪沉积时间延长,粪斑处植物的高营养特性又会吸引家畜采食^[8-9]。据此认为,家畜粪沉积通过引起草地土壤理化性质和植被养分变化而影响家畜采食,形成草地异质性。可见,深入探讨家畜粪沉积对草地的作用,对揭示草地放牧演替生态学机制具有重要理论意义。

国外对草地生态系统中家畜粪沉积的研究深入系统,集中于土-草-畜-环境各领域^[1,4-9];国内该领域研究起步较晚。近年来,国内学者在典型草原和高寒草甸上,对放牧家畜粪便分解特征^[10]、粪对草地土壤-牧草矿质养分变化^[11]、草地植物种子库^[12]、家畜采食^[13]、粪甲虫与节肢动物种类^[14]、温

室气体排放^[15]等影响进行了较系统的研究。虽然这些研究从不同侧面解释了粪沉积对土-草-畜系统的影响,丰富了放牧生态学理论,为草地异质性形成的深入研究提供了理论依据;但家畜粪沉积下,草地土-草矿质元素变化和植被构成整合的研究相对缺乏,且草地植被构成分析集中于群落水平,种群水平分析较少。本研究在前期工作基础上^[2-3,16],通过绵羊和肉牛粪沉积下黑麦草+白三叶草地土-草矿质元素含量关系、牧草种群构成和营养价值的定量分析,从植物种群和群落水平,系统分析不同家畜种类粪沉积在黑麦草+白三叶草地植被构成中的作用,为栽培草地的管理提供实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于贵州省威宁县的塔山、灼圃和凉水沟草地,地理坐标分别为 103°17′—104°18′ E, 26°50′—26°51′ N; 104°04′—104°07′ E, 27°10′—27°12′ N; 103°36′—104°45′ E, 26°36′—27°26′ N。整个研究区冬无严寒,夏无酷暑,年均气温 10~12℃,1 月均温 1.6℃,7 月均温 17.7℃,无霜期 180~220 d;年均降水量 850~1 000 mm,海拔 2 200~2 400 m。土壤以高原山地黄棕壤为主^[3,16]。

1.2 植物和土壤样品采集

2011 年 7 月,选取 1992 年或 1993 年建植,且每年 4—11 月轮牧利用 20 年以上的塔山(放牧奶牛)、灼圃(放牧贵州半细毛羊)、凉水沟(放牧贵州半细毛羊)的黑麦草+鸭茅(*Dactylis glomerata*)+白三叶草地,分别设置 3 个面积为 0.2~0.35 hm² 的重复样地,共 9 块。在考虑粪沉积对草地效应基础

上,参考牧草高度和颜色等特性^[16],在各地选择5个干燥粪斑,作为粪沉积处理(Dung Deposition, DD)样方;其中,塔山牛粪和灼圃羊粪均已破碎,凉水沟羊粪未破碎,并在距各粪斑样方1 m外选择5个配对对照(Control, CK)样方。由于羊、牛粪斑大小一般为0.018~0.025 m²和0.053 m²,且其对草地的影响面积约为粪斑大小的两倍,故本研究样方大小选择为0.1 m²^[5]。

2011年8月,先测定各样地5个配对0.1 m²样方内的草层高度,统计各样方内黑麦草和鸭茅的分蘖密度(Tiller Density, TD)、生殖枝数与采食和未采食的分蘖数;并借鉴刘金祥等^[17]的方法,对黑麦草和鸭茅被家畜采食由轻到重的程度,按摘顶、拔心,摘顶+拔心3个水平对其进行定性描述。再齐地收获地上生物量。收获牧草样均分为两份,一份称鲜质量,一份在65℃烘干后,将各样地5个样方的同处理(粪斑和对照)牧草样合并,共18个牧草样,用于养分分析。另一份将死物质(凋落物+立枯体)和活物质(绿色活体)分开,再将活物质分种,然后分别测其干质量。以植物种群干质量数据为基础,统计播种的黑麦草、鸭茅和白三叶,以及未播种的禾草和杂类草的种群生物量及其生物量占总生物量的比例。黑麦草和鸭茅的分蘖质量(Tiller Weight, TW)通过其种群生物量除以分蘖密度计算,生殖枝率(%) (Percentage of Reproductive Shoots, PRS)通过其生殖枝数除以分蘖密度计算,采食分蘖率通过该种植物的采食分蘖数除以其总分蘖数计算。此外,在收获地上生物量的各样方内,对角线设置两个0.01 m²的微样方,挖取土心测定白三叶匍匐茎密度(Stolon Density, SD;单位面积匍匐茎长度)、单位面积匍匐茎质量(Stolon Weight, SW)和个体匍匐茎质量(Individual Stolon Weight, ISW),单位面积匍匐茎质量/匍匐茎密度)。

各样方植被取样后,先清除0.1 m²样方内碎粪块和粪颗粒,再用直径9.5 cm土钻取0-10和10-20 cm土样,将每块样地5个样方的同处理(粪斑和对照)同层次土样混合装袋,带回实验室,肉眼分拣出植物根系等杂物后风干备用。每采样区共3组配对土样,共18个土样。

1.3 牧草和土壤养分分析

土壤有机质(OM)采用重铬酸钾法测定;P和N含量采用凯氏定氮法测定;K、Na、Mg、Ca、Mn、Zn、Cu和Fe含量采用原子吸收光谱法测定;酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)采用ANKOM-A200i半自动纤维仪滤袋技术测定;可溶性糖(WSC)采用蒽酮比色法测定。具体分析见文献^[18-20]。其中,牧草粗蛋白(CP)、代谢能(ME)^[21-22]和消化率(OMD)^[23]含量由公式:

$$CP = 6.25 \times N \quad (1)$$

$$ME = 4.2014 + 0.0236 ADF + 0.1794 CP \quad (2)$$

$$OMD = ME / 0.016 \quad (3)$$

分别计算出。所有指标均换算为干质量下的数据。

1.4 数据处理和分析

应用SPSS 16.0的GLM多变量分析取样地和粪沉积及其互作对土、草矿质元素含量,牧草营养价值和植被特性的影响,并对各取样地数据分别进行粪沉积和对照之间的差异显著性分析,所有数据均以均值±SD(标准差, Standard Deviation)表示。同时,以样地和3个采样地为重复,对粪沉积和对照处相同矿质元素含量分别进行牧草和对应0-10、10-20 cm土样之间的Pearson相关分析。

2 结果分析

2.1 土壤有机质和矿质元素含量

取样地对土壤0-10、10-20 cm的9种矿质元素均有显著影响($P < 0.05$, $P < 0.01$ 或 $P < 0.001$);粪沉积对0-10 cm土壤OM、P和Fe以及10-20 cm土壤N、K和Zn影响显著($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),对0-10 cm土壤N、Na、K、Mg、Cu、Mn和Zn含量,以及10-20 cm土壤OM、P、Na、Mg、Fe、Cu和Mn无显著影响($P > 0.05$);取样地和粪沉积互作对0-10 cm土壤OM、P、Zn和10-20 cm土壤N、Mg,以及0-20 cm土壤Na、K、Fe、Cu、Mn含量有显著影响($P < 0.05$, $P < 0.01$ 或 $P < 0.001$),对0-10 cm土壤N、Mg和10-20 cm土壤N、P、Zn含量无显著影响($P > 0.05$)。不同取样地土壤矿质元素含量为:塔山粪沉积处0-10 cm土壤K和0-20 cm土壤Na、Cu、Mn和Zn含量显著高于对照,而0-10 cm土壤Mg含量低于对照;灼圃粪沉积处0-20 cm土壤OM、N和10

—20 cm 土壤 P、K 含量显著高于对照,而0—20 cm 土壤 Na、Fe、Cu 和 Mn 含量显著低于对照;凉水沟粪沉积处 0—10 cm 土壤 P 和 10—20 cm 土壤 Cu 含量显著高于对照(表 1)。说明,粪沉积对土壤养分的影响因矿质种类和家畜种类而异。

2.2 牧草养分含量

取样地对牧草 9 种矿质元素与 5 种营养价值(ADF、NDF、CP、ME 和 OMD)均有显著影响($P<0.05$, $P<0.01$ 或 $P<0.001$),但对牧草 WSC 含量无显著影响($P>0.05$)。粪沉积对牧草 P、K、Fe、Cu、Mn、Zn 和 ADF、CP 影响显著($P<0.05$, $P<0.01$ 或 $P<0.001$),但对牧草 Ca、Na、Mg 和 WSC、NDF、ME、OMD 无显著影响($P>0.05$)。取样地和

粪沉积互作仅对牧草 Fe、Mn 与 ADF 含量有显著影响($P<0.05$),而对牧草 Ca、P、Na、K、Mg、Cu、Zn 和 WSC、NDF、CP、ME、OMD 无显著影响($P>0.05$)。不同采样地粪斑处牧草养分含量不同:塔山的 P、Fe 和 ME、CP、OMD,灼圃的 Cu、Mn、Zn,以及凉水沟的 Fe、Mn 含量均显著低于对照;但塔山的 ADF、灼圃的 ADF 和凉水沟的 K 含量则显著高于对照(表 2)。3 个采样地牧草其他各养分含量在粪斑和对照之间均差异不显著。说明畜粪沉积降低牧草整体养分价值,牛粪沉积对牧草养分含量的影响比羊粪沉积明显。对比分析土、草矿质元素含量得知,各矿质养分含量在土、草之间存在很大差异,且因矿质种类不同而异。

表 1 土壤有机质和矿质元素含量
Table 1 Contents of organic matter and mineral elements in soils

养分指标 Nutrient index	塔山 Tashan		灼圃 Zhuopu		凉水沟 Liangshuigou	
	粪沉积	对照	粪沉积	对照	粪沉积	对照
	Dung deposition	Control	Dung deposition	Control	Dung deposition	Control
0—10 cm						
OM/ %	9.56±0.54	9.21±0.37	11.38±0.02**	9.74±0.09	4.27±0.25	4.20±0.16
N/ %	0.33±0.11	0.29±0.02	0.48±0.00*	0.45±0.01	0.15±0.01	0.14±0.00
P/ %	0.14±0.00	0.13±0.00	0.10±0.00	0.10±0.00	0.09±0.00*	0.08±0.00
Na/ %	0.30±0.02**	0.12±0.01	0.14±0.00	0.34±0.02**	0.10±0.02	0.11±0.01
K/ %	0.69±0.01***	0.55±0.00	0.90±0.02	0.99±0.05	0.76±0.05	0.73±0.05
Mg/g · kg ⁻¹	3.06±0.15	4.43±0.24*	3.20±0.14	2.70±0.38	1.72±0.31	2.49±1.65
Fe/g · kg ⁻¹	16.83±3.50	16.12±0.47	5.55±0.20	19.11±1.35**	9.18±1.95	7.47±3.04
Cu/mg · kg ⁻¹	68.03±1.70**	31.52±1.29	32.18±3.08	70.09±8.18*	26.91±2.71	27.52±2.93
Mn/mg · kg ⁻¹	769.44±72.23**	236.99±26.84	134.29±24.20	642.84±161.55*	300.65±84.44	215.99±111.42
Zn/mg · kg ⁻¹	204.97±7.48*	122.55±13.42	106.28±30.2	251.62±77.49	235.26±20.42	291.69±59.81
10—20 cm						
OM/ %	7.01±0.08	7.03±0.44	11.19±0.01***	6.05±0.11	3.55±0.13	3.56±0.02
N/ %	0.20±0.02	0.19±0.00	0.31±0.01*	0.21±0.02	0.13±0.00	0.14±0.00
P/ %	0.12±0.01	0.12±0.00	0.08±0.00*	0.07±0.00	0.08±0.00	0.08±0.00
Na/ %	0.33±0.04*	0.12±0.01	0.17±0.03	0.33±0.01**	0.15±0.01	0.10±0.01
K/ %	0.64±0.02	0.56±0.04	5.75±0.02**	1.06±0.03	0.78±0.06	0.75±0.01
Mg/g · kg ⁻¹	2.81±0.11	4.28±0.64	3.25±0.58	2.89±0.39	2.57±0.36	2.26±0.20
Fe/g · kg ⁻¹	18.25±1.62	15.12±0.30	5.57±0.70	12.59±0.89**	9.33±2.56	9.87±0.10
Cu/mg · kg ⁻¹	63.48±0.32**	34.06±1.67	34.74±1.05	66.06±6.54*	29.78±2.89*	20.47±1.16
Mn/mg · kg ⁻¹	787.95±121.69*	217.45±83.78	121.51±21.40	672.55±93.93*	306.28±119.87	295.69±47.87
Zn/mg · kg ⁻¹	153.60±8.06*	106.08±5.35	105.52±21.5	85.54±15.44	240.67±7.11	209.70±16.13

注: *, ** 和 *** 分别表示 $P<0.05$, $P<0.01$ 和 $P<0.001$ 。下同。
Notes: *, **, *** , $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$. The same below.

表 2 牧草养分含量
Table 2 Nutritiions in the forages

养分指标 Nutrient index	塔山 Tashan		灼圃 Zhuopu		凉水沟 Liangshuigou	
	粪沉积	对照	粪沉积	对照	粪沉积	对照
	Dung deposition	Control	Dung deposition	Control	Dung deposition	Control
Ca/g · kg ⁻¹	3.29±0.96	3.66±0.64	3.11±0.04	3.81±0.54	6.05±0.20	5.64±1.18
P/%	0.24±0.07	0.35±0.02*	0.19±0.03	0.22±0.02	0.50±0.04	0.52±0.04
Na/%	0.41±0.02	0.39±0.00	0.51±0.01	0.52±0.01	0.39±0.01	0.38±0.01
K/%	1.51±0.11	1.29±0.07	2.52±0.18	2.24±0.03	2.39±0.01*	1.88±0.08
Mg/g · kg ⁻¹	8.11±0.23	8.91±0.62	4.35±0.11	4.76±0.18	6.08±0.02	5.90±0.19
Fe/g · kg ⁻¹	1.05±0.02	1.85±0.19*	0.73±0.11	1.03±0.03	0.63±0.00	1.00±0.02**
Cu/mg · kg ⁻¹	25.61±0.82	35.98±8.24	12.29±0.13	18.73±0.88**	17.10±0.32	20.21±4.60
Mn/mg · kg ⁻¹	134.95±25.56	148.48±3.47	192.73±10.19	292.11±3.42**	68.50±0.26	93.13±5.81*
Zn/mg · kg ⁻¹	121.02±19.51	158.11±51.87	46.79±0.25	82.39±32.94*	163.41±23.03	221.60±36.16
WSC/%	9.23±3.28	4.12±0.01	2.78±0.03	3.53±0.86	4.96±0.06	8.55±4.41
ADF/%	29.40±1.24*	23.49±0.56	30.60±0.38*	29.16±0.28	26.27±1.27	23.92±0.30
NDF/%	48.97±7.07	48.31±1.68	60.83±1.38	59.62±0.53	46.99±2.21	43.84±0.23
ME/MJ · kg ⁻¹	7.85±0.05	9.11±0.28*	7.18±0.33	7.51±0.14	8.26±0.85	8.31±0.34
CP/%	16.47±0.45	24.29±1.62*	12.60±1.81	14.60±0.74	19.18±4.64	19.74±1.93
OMD/g · kg ⁻¹	490.58±3.26	569.55±17.31*	449.05±20.90	469.32±8.73	516.43±52.83	519.15±21.20

2.3 牧草和土样矿质元素含量相关性分析

相关性分析表明,对照牧草的 Na、K 和 Mn 分别与对应(0—10 和10—20 cm)土壤的 Na、K 和 Mn 含量呈显著或极显著正相关关系($P<0.05$, $P<0.01$),粪沉积处牧草 Cu 和 Zn 含量均与与之对应的 0—10 和 10—20 cm 土壤 Cu 和 Zn 含量呈显著和极显著正相关($P<0.05$, $P<0.01$);且粪沉积处牧草的 K 和 Fe 含量分别与其对应 10—20 cm 土壤的 K 和 Fe 含量之间呈极显著和显著正相关($P<0.05$, $P<0.01$),对照牧草的 Fe 和对应 10—20 cm 土壤的 Fe 含量之间呈显著正相关($P<0.05$)(表 3)。粪沉积处和对照的牧草 N、P、Mg 和与其对应(0—10 和 10—20 cm)土壤的 N、P、Mg 之间无显著相关性($P>0.05$)。说明畜粪沉积主要影响 Na、K、Cu、Mn 和 Zn 在土壤和牧草系统之间的转化,降低 K 在土壤和牧草之间的正相关性,使 Na 和 Mn 在土—草之间的正相关关系消失,使 Cu 和 Zn 在土—草系统之间由不显著相关转化为明显的正相关关系。

2.4 草地植被构成

草地植物物种数和牧草高度因样地的不同而不同,塔山的植物物种数明显高于灼圃和凉水沟,粪沉积

对 3 个地点的植物物种数均无显著影响($P>0.05$)(图 1)。粪沉积和对照处的牧草高度均表现为塔山>灼圃>凉水沟,且在 3 个地点间差异显著($P<0.001$);3 个研究区粪沉积处牧草高度均高于对照(图 2)。

表 3 各矿质元素在牧草与土壤之间的相关性分析($n=9$)
Table 3 Relationships between forages and soil in mineral contents($n=9$)

矿质元素 Mineral content	0—10 cm		10—20 cm	
	粪沉积	对照	粪沉积	对照
	Dung deposition	Control	Dung deposition	Control
N/%	−0.76	−0.53	−0.79	−0.33
P/%	−0.45	−0.45	−0.25	0.11
Na/%	−0.18	0.98***	−0.26	0.99***
K/%	0.79	0.96**	0.85*	0.94**
Mg/g · kg ⁻¹	−0.03	0.67	−0.52	0.72
Fe/g · kg ⁻¹	0.76	0.29	0.82*	0.85*
Cu/mg · kg ⁻¹	0.88*	−0.43	0.87*	−0.28
Mn/mg · kg ⁻¹	−0.19	0.87*	−0.18	0.84*
Zn/mg · kg ⁻¹	0.93**	0.01	0.92**	0.76

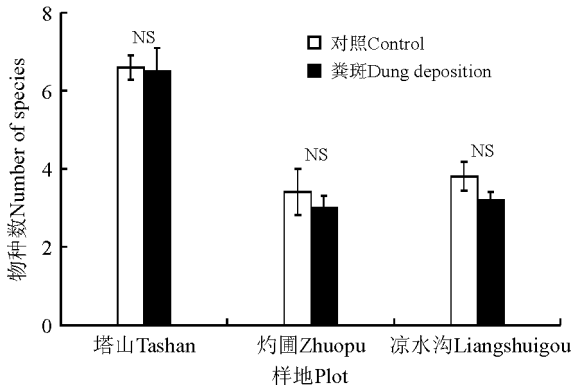


图 1 粪沉积和对照样方处植物物种数

Fig. 1 Number of species in dung deposition and control plots

注: NS, $P>0.05$.

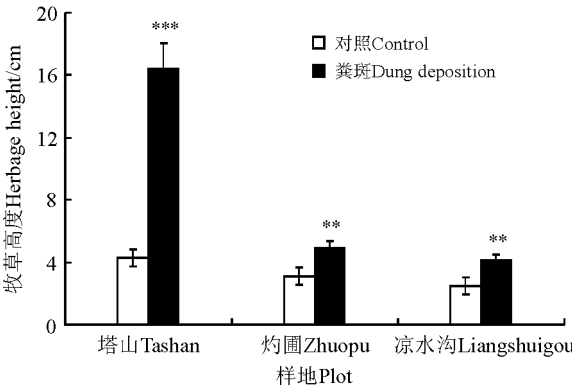


图 2 粪沉积和对照处牧草高度

Fig. 2 Sward heights in dung deposition and control plots

注: **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$.

草地生物量及其构成结果显示,取样地、粪沉积及二者互作均对牧草总生物量和死物质生物量,以及黑麦草和鸭茅的生物量有极显著影响($P<0.001$);取样地对白三叶和未播种禾草生物量,以及黑麦草、鸭茅、白三叶、未播种杂类草和死物质的生物量比例均有显著影响($P<0.05$, $P<0.01$ 或 $P<0.001$),粪沉积仅对黑麦草和未播种禾草的生物量比例有显著影响($P<0.05$),取样地和粪沉积互作对鸭茅和死物质生物量比例有显著影响($P<0.05$)。不同取样地粪沉积作用不同,粪沉积显著增加塔山、灼圃的鸭茅生物量及塔山、凉水沟的黑麦草生物量,显著增加 3 个研究区的总生物量及塔山死物质质量;显著增加塔山黑麦草、死物质及灼圃鸭茅的生物量比例,显著降低塔山白三叶生物量比例,而对其他植物种生物量及其构成无影响(表 4)。同时,

灼圃粪沉积和对照的未播种禾草均为绒毛草(*Holcus lanatus*)和黄花茅(*Anthoxanthum hookeri*),分别占各自总生物量的 0.29%、0.11%和 1.54%、0.11%;其未播种杂类草粪沉积处仅为积雪草(*Centella asiatica*),对照为繁缕和积雪草,分别占各自总生物量的 0.17%、2.39%和 0.38%。凉水沟未播种禾草粪沉积和对照处均为早熟禾(*Poa annua*),分别占各自总生物量的 0.04%和 0.91%;而未播种杂类草粪沉积处仅为积雪草,对照则为积雪草和钻形紫菀(*Aster subulatus*),分别占各自总生物量的 3.86%、8.73%和 1.44%。塔山粪沉积和对照的未播种禾草均为早熟禾,分别占各自总生物量的 0.51%和 1.84%;但二者未播种杂类草种类较多,其中粪沉积处主要由酸模(*Rumex acetosa*)、繁缕和蒲公英组成,分别占其总生物量的 2.39%、1.39%和 1.95%,而对照主要由尼泊尔蓼(*Polygonum nepalense*)、酸模、繁缕、夏枯草、蒲公英和荷兰豆草组成,分别占其总生物量的 1.91%、2.92%、1.54%、2.73%、2.82%和 2.99%。3 个研究点的未播种禾草和未播种杂类草中每一个植物种的生物量比例均在粪沉积和对照之间差异不显著($P>0.05$)。

取样地、粪沉积及二者互作对黑麦草和鸭茅的分蘖密度和分蘖质量,及白三叶匍匐茎密度和匍匐茎质量有显著影响($P<0.05$ 或 $P<0.01$);尽管粪沉积对白三叶个体匍匐茎质量无显著影响($P>0.05$),但 3 个采样点之间白三叶个体匍匐茎质量有显著差异($P<0.05$)。不同取样区粪沉积作用不同,粪沉积显著增加灼圃和凉水沟黑麦草分蘖密度,使塔山黑麦草分蘖质量和的生殖枝率增加;显著降低塔山鸭茅分蘖密度,使塔山和灼圃鸭茅分蘖质量增加;与禾草相比,粪沉积仅显著降低塔山白三叶匍匐茎密度和匍匐茎质量,对白三叶个体匍匐茎质量无显著影响(表 5)。

综合看出,粪沉积主要通过影响草地优势禾草的生长特性而使草层植被构成发生变化,粪沉积对黑麦草和鸭茅的影响比白三叶大,牛粪比羊粪沉积对草地植被构成的影响大。

2.5 禾草分蘖采食率

牛、羊对 3 个研究地点粪沉积处黑麦草和鸭茅的分蘖采食率均较对照低(表 6)。同期家畜对禾草

表 4 草地牧草生物量构成

Table 4 Composition of botanical biomass and its percentages

群落特性 Community characteristic	塔山 Tashan		灼圃 Zhuopu		凉水沟 Liangshuigou	
	粪沉积 Dung deposition	对照 Control	粪沉积 Dung deposition	对照 Control	粪沉积 Dung deposition	对照 Control
生物量 Biomass/g·m ⁻²						
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	110.73±82.08**	16.29±7.16	2.52±5.63	0.78±1.14	131.80±19.46***	59.16±15.91
鸭茅 <i>Dactylis glomerata</i>	110.29±54.03***	31.52±11.93	156.02±20.11***	71.07±16.34	0	0
白三叶 <i>Trifolium repens</i>	12.39±11.67	6.79±4.94	6.90±5.58	8.10±5.45	21.98±12.66	12.34±5.58
早熟禾 <i>Poa annua</i>	1.46±2.54	1.59±2.28	0	0	0.08±0.18	0.74±0.70
绒毛草 <i>Holcus lanatus</i>	0	0	0.62±139	1.84±3.16	0	0
黄花茅 <i>Anthoxanthum hookeri</i>	0	0	0.26±0.58	0.13±0.27	0	0
繁缕 <i>Stellaria media</i>	4.50±6.71	2.20±3.00	0	2.28±5.10	0	0
积雪草 <i>Centella asiatica</i>	0	0	0.32±0.44	0.28±0.63	6.32±4.54	8.34±6.45
钻形紫菀 <i>Aster subulatus</i>	0	0	0	0	0	0.20±0.45
蒲公英 <i>Taraxacum</i> sp.	3.07±4.68	2.27±3.57	0	0	0	0
白苞蒿 <i>Artemisia lactiflora</i>	0.38±1.10	0	0	0	0	0
尼泊尔蓼 <i>Polygonum nepalense</i>	1.19±1.92	1.54±2.34	0	0	0	0
酸模 <i>Rumex acetosa</i>	7.97±18.59	2.35±4.26	0	0	0	0
金荞麦 <i>Polygonum cynosum</i>	0.05±0.16	0.12±0.27	0	0	0	0
夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i>	2.44±3.61	1.24±3.58	0	0	0	0
微孔草 <i>Microula sikkimensis</i>	0.77±1.63	0.14±0.44	0	0	0	0
荷兰豆草 <i>Drymaria cordata</i>	0.08±0.25	2.41±7.62	0	0	0	0
死物质量 Dead matter	78.27±35.13***	12.02±9.50	37.98±11.97	24.86±9.76	7.46±2.51	4.92±1.51
合计 Total	334.02±105.92***	80.56±19.889	204.60±26.76***	109.26±23.36	167.64±11.89***	85.70±10.43
生物量构成 Biomass composition/%						
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	30.66±14.26*	20.06±6.98	1.28±2.86	0.88±1.25	78.45±7.99	68.18±12.56
鸭茅 <i>Dactylis glomerata</i>	33.45±14.00	39.05±11.57	76.47±6.25**	64.92±4.59	0.00±0.00	0.00±0.00
白三叶 <i>Trifolium repens</i>	3.55±3.00	9.19±7.25*	3.28±3.24	7.69±4.90	13.12±7.78	15.03±8.45
未播种禾草 Unsown grasses	0.51±0.85	1.84±2.61	0.40±0.59	1.65±2.57	0.04±0.10	0.91±0.92
未播种杂类草 Unsown forbs	8.95±12.50	15.71±10.81	0.17±0.23	2.77±5.28	3.86±2.73	10.17±7.93
死物质量 Dead matter	22.88±8.14*	14.16±6.93	18.40±4.57	22.09±4.49	4.52±1.80	5.71±1.28

表 5 播种植物种群密度和个体大小变化
Table 5 Density and individual size of *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* and *Trifolium repens*

种群特性 Populational characteristic	塔山 Tashan		灼圃 Zhuopu		凉水沟 Liangshuigou	
	粪沉积 Dung deposition	对照 Control	粪沉积 Dung deposition	对照 Control	粪沉积 Dung deposition	对照 Control
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>						
分蘖密度/蘖·m ⁻² Tiller density/tillers·m ⁻²	1 068.0±492.6	982.0±691.4	172.0±384.6*	90.0±151.7	10 744.0±3 514.5*	6 512.0±1 915.0
分蘖质量/mg·蘖 ⁻¹ Tiller weight/mg·tiller ⁻¹	100.9±47.7**	21.7±12.1	11.3±4.7	10.6±4.9	13.3±4.3	9.3±1.4
生殖枝率 Percentage of reproduction shoot/%	27.9±19.3***	0.5±0.9	0	0	0	0
鸭茅 <i>Dactylis glomerata</i>						
分蘖密度/蘖·m ⁻² Tiller density/tillers·m ⁻²	708.0±376.6	1 545.0±636.4**	4 106.0±630.4	4 422.0±658.1	0	0
分蘖质量/mg·蘖 ⁻¹ Tiller weight/mg·tiller ⁻¹	169.8±77.1**	22.5±9.3	38.5±6.5***	16.0±2.8	0	0
白三叶 <i>Trifolium repens</i>						
匍匐茎密度 Stolon density/m·m ⁻²	14.6±12.4	98.6±73.8*	22.0±21.5	29.6±19.4	113.1±76.9	80.7±22.1
个体匍匐茎质量 Individual stolon weight/g·m ⁻¹	2.3±2.1	0.9±0.8	4.3±4.0	0.9±0.3	1.1±0.4	1.1±0.3
匍匐茎质量 Stolonweight/g·m ⁻²	25.2±18.7	68.1±36.8**	30.4±14.2	28.6±19.0	100.4±38.9	89.0±23.2

表 6 家畜对草地禾草分蘖的采食率
Table 6 Defoliation rate for grasses tillers by grazing animals

草种 Grass	塔山 Tashan		灼圃 Zhuopu		凉水沟 Liangshuigou	
	粪沉积 Dung deposition	对照 Control	粪沉积 Dung deposition	对照 Control	粪沉积 Dung deposition	对照 Control
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	52.5±16.8	85.3±21.2***	0	0	81.5±20.3	93.4±18.2*
鸭茅 <i>Dactylis glomerata</i>	61.6±16.5	83.6±17.5**	72.2±23.2	85.3±20.3*	0	0

采食程度的定性观测结果显示,家畜对 3 个研究地对照样方内黑麦草和鸭茅的采食均以摘顶+拔心为主;而对粪沉积处禾草的采食,塔山以摘顶为主,灼圃以拔心为主,凉水沟以摘顶+拔心为主。这说明即使粪沉积很长一段时间,放牧家畜仍对粪沉积处植物具有一定弃食性,且对粪沉积处植物的弃食程度牛比羊大。因此,牛对粪沉积处植物的采食比羊更敏感。

3 讨论

3.1 草地养分

家畜排泄物沉积常使土壤养分增加。本研究中,塔山牛粪和灼圃羊粪沉积能使土壤 P、K、Mg、Na、Cu、Mn 和 Zn 含量增加,这与以往多数研究结论一致^[6,8,10,24]。但张英俊^[11]发现,将绵羊新鲜粪尿施入黑麦草+白三叶草地,除增加土壤 Mn 含量外,对土壤其他矿质元素无影响,这可能与二者粪沉积时间不同有关。由于家畜粪沉积后,完全分解需要 2 或 3 年以上^[7,25],粪中养分随粪的破碎和分解逐渐进入土壤。本研究塔山牛粪和灼圃羊粪沉积时间较长,观测时牛粪块已完全破碎,羊粪也呈破碎状态,从而粪中矿质养分较充分进入土壤,对土壤矿质养分影响明显;而张英俊^[11]的研究是在绵羊排泄物沉积 3 个月内测定,此时排泄物中矿质养分尚未充分进入土壤,粪沉积对土壤矿质养分的影响尚不明显。凉水沟羊粪对土壤矿质养分影响小,也与羊粪沉积时间较短、粪中养分进入土壤少有关。

家畜排泄物沉积亦提高牧草养分。家畜粪沉积抑制本研究的塔山牧草 P、Fe,灼圃牧草 Cu、Mn、Zn 和凉水沟牧草 Fe、Mn 的吸收,促进凉水沟牧草 K 吸收;这与张英俊^[11]的研究结论,绵羊新鲜粪尿施入抑制牧草 Fe 和 Zn 吸收,促进植物 Mn 和 K 吸收,对牧草 Cu 含量无影响;及 Sakadevan 等^[26]关于草地植物可从粪尿获得 35% S、55% N 和 57% K 的结果不同。这可能与本研究牧草养分效果仅来自粪而这些研究来自粪尿共同施肥作用有关,也可能与粪对植物的影响效应随其沉积后的持续时间不同有关^[7],还可能与粪中大量矿质养分输入土—草系统后,使不同矿质元素之间的促进和拮抗作用发生改变有关^[27]。牛粪沉积处牧草 ME 和 CP 比对照

低,羊粪沉积与对照处牧草营养价值指标相近;这是由于虽然家畜粪沉积提高牧草营养价值,但牛对自身粪斑弃食严重且弃食时间较长,而羊对羊粪斑的弃食程度较小,从而牛粪斑处牧草因长期采食不足而变老甚至进入生殖期,由此使牛粪斑处牧草草质变劣,适口性降低。因此,畜粪沉积对草地土壤和牧草养分的影响不仅与排泄物类型有关,还与排泄物沉积后的持续时间有关。

3.2 草地植被

有研究认为,因牛粪堆积对草地植物的窒息作用,而使粪堆积下植物死亡,进而使草地植物多样性降低^[24,28]。与本研究粪沉积对草地植物物种数无显著影响的结论存在分异。其主要原因是,粪沉积窒息作用发生于粪沉积初期,而本研究观测时粪已基本分解,处于粪沉积后期,此时粪中植物种子接触、进入土壤而萌发^[12],这又弥补了因粪窒息作用而对草地植物多样性降低的负效应,从而使粪斑和对照处的草地植物物种数相近。

本研究中,牛和羊粪沉积的长期效应均促进禾草生长而抑制豆科牧草的生长,这与以往排泄物沉积利于禾草而不利豆科牧草生长的研究结果^[29]一致。这是由于禾草易于吸收粪中养分(主要是 N)而充分生长^[5],使其草层高度和种群生物量增高,进而增强禾草对白三叶的遮阴效应;同时粪中 N 的添加降低白三叶的固 N 作用而抑制粪斑处白三叶的生长^[29]。本研究还发现,粪沉积使牧草高度和生物量增加,这与以往研究结果一致^[5]。这一方面由于排泄物的施肥效应,当畜粪沉积一段时间后,粪中氮素等养分进入土壤,促进牧草生长,而使牧草生产力提高^[2,7];另一方面,粪斑具特殊气味和高寄生虫,从而家畜对粪斑弃食或采食较少^[9]。本研究测得牛粪斑处的死物质量高于羊粪斑,说明,牛粪比羊粪沉积对草地植物的抑制效应强。

3.3 家畜采食

虽然家畜通常会弃食粪斑处的植物^[8,13,30],但粪斑处植物的高营养性又会吸引家畜;家畜对粪斑处植物的弃食行为随畜粪沉积日期的加长逐渐降低^[9],这与本研究结果一致。本研究中牛对牛粪沉积处植物的弃食程度比羊对羊粪沉积的大,这是由于牛粪沉积影响家畜采食的范围和程度大,而颗粒

状羊粪沉积影响家畜采食的范围和程度小造成,这与 Forbes 和 Hodgson^[30]的报道类似。因此,草地实践管理中,通过牛、羊混合放牧,提高羊对牛粪沉积处牧草的采食,以降低牛粪沉积处的牧草浪费,提高草地利用率。

3.4 白三叶匍匐茎密度测定方法

本研究通过土心取样方法,所测 3 个样地粪沉积和对照处的白三叶匍匐茎密度为 $15 \sim 113 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$,这比 Curll 等^[31]和 Yu 等^[32]所报道的英国威尔士正常放牧管理未施肥黑麦草+白三叶草地同样方法所测白三叶匍匐茎密度为 $15 \sim 65 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $7 \sim 33 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$ 高,主要是因为二者研究地点和草地利用年限不同,进而使草地白三叶比例不同所致。同时,本研究所测白三叶匍匐茎密度也远高于前期报道,贵州灼圃放牧黑麦草+白三叶草地上白三叶匍匐茎密度的 $1 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[3];主要由于测定方法的差异所致,前期研究仅测定了地面部分白三叶匍匐茎,而白三叶匍匐茎很大一部分生长于表层 $0.5 \sim 1.0 \text{ cm}$ 土层中,本研究通过土心取样方法,所测白三叶匍匐茎是地上和地下土层之和。因此,本研究土层取样方法更精确的测定了白三叶匍匐茎密度。

总之,虽然畜粪沉积对草地的作用贯穿于土壤、植被和草—畜系统各领域,随畜粪类型和粪分解阶段等不同而变化。但本研究仅从畜粪沉积的粪斑破碎这一特殊时期,重点分析了土壤矿质养分与植物

种群和群落特征变化;在草畜系统方面,仅浅显分析了家畜对禾草的采食率。因此,以后的研究中,需进一步明晰粪沉积不同阶段,土壤和植被的分异特征及家畜的采食特征变化,以深入揭示畜粪沉积对草地植被异质性形成的作用机制。

4 结论

粪沉积对草地的作用体现于整个放牧系统。土壤和牧草养分含量随矿质种类和排泄物类型不同而异,受排泄物沉积后持续时间影响;家畜粪沉积主要影响 Na、K、Cu、Mn 和 Zn 含量在土—草系统间的转化,降低 K 在土—草间的正相关性,消除 Na 和 Mn 在土—草间的正相关性,促进 Cu 和 Zn 在土—草之间形成显著正相关关系。粪沉积对植被的作用持续时间长,随家畜种类和粪分解阶段不同而异;粪沉积促进禾草(鸭茅和黑麦草)分蘖和生长,抑制豆科牧草(白三叶)生长,使牧草生产力提高,植被构成发生变化。牛粪沉积还使牧草整体营养价值下降,黑麦草生殖枝率增加,牛粪对草地养分和植被构成的影响比羊粪明显。家畜对粪沉积处禾草的采食均比对照的低,牛对粪沉积处植物的弃食程度比羊的高。草地实践管理中,实行牛羊混牧,以降低因牛弃食牛粪斑植物而造成的牧草浪费,从而提高牧草利用率。土层取样方法可更准确测定白三叶匍匐茎密度。

参考文献

- [1] Hodgson J. Grazing management——Science into Practice [M]. New York: Longman Science and Technical Press, 1990.
- [2] 王文, 刘国友, 于应文, 徐震. 放牧利用下气候因子和奶牛排泄物施肥对混播草地牧草生长的影响[J]. 草原与草坪, 2007(2): 22-27.
- [3] Yu Y W, Nan Z B, Matthew C. Population relationships of perennial ryegrass and white clover mixtures under differing grazing intensities [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 124: 40-50.
- [4] Afzal M, Adams W A. Heterogeneity of soil mineral nitrogen in pasture grazed by cattle[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56: 1160-1166.
- [5] 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: 263-271.
- [6] Aarons S R, Hosseini H M, Dorling L, Gourley C J P. Dung decomposition in temperate dairy pastures II: Contribution to plant-available soil phosphorus[J]. Australian Journal of Soil Research, 2004, 24: 115-123.
- [7] Powell J M, Ikpe F N, Somda Z C, Fernandez-Rivera S. Urine effects on soil chemical properties and the impact of urine

- and dung on pearl millet yield[J]. *Experimental Agriculture*, 1998, 34: 259-276.
- [8] MacDiarmid B N, Watkin B R. The cattle dung patch 3. Distribution and rate of decay of dung patches and their influence on grazing behaviour[J]. *Journal of the British Grassland Society*, 1972, 27: 48-54.
- [9] Hutchings M R, Gordon I J, Kyriazakis I, Jackson F. Sheep avoidance of faeces-contaminated patches leads to a trade-off between intake rate of forage and parasitism in subsequent foraging decisions[J]. *Animal Behaviour*, 2001, 62: 955-964.
- [10] 刘新民, 陈海燕, 峥嵘, 乌云, 阿仁高娃, 王润润. 内蒙古典型草原羊粪和牛粪的分解特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(6): 791-796.
- [11] 张英俊. 绵羊宿营法清除天然草地灌木无毛丑柳的效果和机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 1999.
- [12] 鱼小军. 牦牛粪维系青藏高原高寒草地健康的作用机制[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [13] 姜世成, 周道玮. 草原牛粪对牲畜取食影响的研究[J]. *中国草地*, 2002, 24(1): 41-45.
- [14] 姜世成, 周道玮. 松嫩草地牛粪中大型节肢动物种类组成及种群动态变化[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 2983-2991.
- [15] Lin X W, Wang S P, Ma X Z, Xu G P, Luo C Y, Li Y N, Jiang G M, Xie Z B. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O in an alpine meadow affected by yak excreta during summer grazing periods on the Qinghai-Tibetan plateau[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 718-725.
- [16] 周姗姗, 孙红, 廖加法, 于应文. 放牧对黑麦草+白三叶混播草地植被构成的作用[J]. *草业科学*, 2012, 29(5): 814-820.
- [17] 刘金祥, 周道玮, 王德利. 羊草草原放牧动物选择性采食研究[J]. *草业学报*, 2004, 13(2): 101-104.
- [18] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [20] 甘肃农业大学. 草原生态化学实验指导书[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [21] Rohweder D A, Barnes R F, Jorgensen N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality[J]. *Journal of Animal Science*, 1978, 47(3): 747-759.
- [22] 卢德勋. 乳牛营养工程技术及其应用[J]. *内蒙古畜牧科学*, 2003(1): 5-12.
- [23] Macdonald P, Edwards P A, Greenhoff J F D. 动物营养学[M]. 赵义斌, 胡令浩, 译. 兰州: 甘肃民族出版社, 1992.
- [24] 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): 1-3.
- [25] 李辉霞, 王青, 陈国阶. 高原牛粪: 理想与生存的实证[J]. *生态经济*, 2003(8): 29-31.
- [26] Sakadevan K, Mackay A D, Hedley M J. Influence of sheep excreta on pasture uptake and leaching losses of sulfur, nitrogen and potassium from grazed pastures[J]. *Australia Journal of Soil Research*, 1993, 31: 151-162.
- [27] Whitehead D C. Nutrient Elements in Grassland. Soil-Plant-Animal Relationships[M]. Wallingford, UK: CAB International, 2000.
- [28] MacDiarmid B N, Watkin B R. The cattle dung patch 1. Effect of dung patches on yields and botanical composition of surrounding and underlying pasture[J]. *Journal of the British Grassland Society*, 1971, 26: 239-245.
- [29] Vinther F P. Biological nitrogen fixation in grass-clover affected by animal excreta[J]. *Plant and Soil*, 1998, 203: 207-215.
- [30] Forbes T D A, Hodgson J. The reaction of grazing sheep and cattle to the presence of dung from the same or the other species[J]. *Grass and Forage Science*, 1985, 40: 177-182.
- [31] Curll M L, Wilkins R J, Snaydon R W, Shanmugalingam V S. The effects of stocking rate and nitrogen fertilizer on a perennial ryegrass-white clover sward. 1. Sward and sheep performance[J]. *Grass and Forage Science*, 1985, 40: 129-140.
- [32] Yu Y W, Fraser M D, Evans J G. Long-term effects on sward composition and animal performance of reducing fertilizer inputs to upland permanent pasture[J]. *Grass and Forage Science*, 2011, 66: 138-151.