

羊尿对典型草原不同生活型草地植物生长特性的影响

于应文, 南志标*, 侯扶江

(兰州大学草地农业科技学院 农业部草地农业生态系统学重点实验室 兰州 730020)

摘要:连续 2a 研究了施尿量(4, 2, 1 L/m² 和 0 L/m²) 和施尿期(营养期和生殖期)对典型草原多年生密丛型禾本科植物长芒草(*Stipa bungeana*)、多年生轴根型菊科植物茵陈蒿(*Artemisia capillaries*) 和多年生半灌木豆科植物胡枝子(*Lespedeza davurica*) 生长特性的影响。结果表明,不同植物对畜尿沉积的响应不同,并受施尿量和施尿时期的作用。畜尿对草地植物具短期(4 周内)灼烧作用,灼烧主要发生于尿斑中心;畜尿对长芒草生长具长期正效应(4 周后),对茵陈蒿和胡枝子生长具持续负效应,此效应持续至少 2a 且随施尿量降低而降低。一般尿斑中心(4 L/m²) 所有植物伤害,尿斑中心至边缘圈植物局部器官(嫩枝叶)伤害(2 ~ 4 L/m²),尿斑外渗区域(1 ~ 2 L/m²) 所有植物无显著伤害。高施尿量(2 ~ 4 L/m²) 下,长芒草具较高的年均分蘖数和地上生物量,而胡枝子和茵陈蒿与之相反。尿斑处 3 种植物具较高的分蘖(枝)死亡率和死物质率。茵陈蒿对各时期施尿均反应敏感,胡枝子和长芒草对生殖期施尿更敏感。尿斑处禾草枯黄期延迟,返青期提前。

关键词:羊尿;尿量;典型草原;长芒草;茵陈蒿;胡枝子;生长特性

文章编号:1000-0933(2008)05-2022-09 中图分类号:Q143, Q948, S812 文献标识码:A

The effects of sheep urine on growing characteristics of different life form plants in a Chinese steppe grassland

YU Ying-Wen, NAN Zhi-Biao*, HOU Fu-Jiang

Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2022 ~ 2030.

Abstract: The effects of sheep urine deposition volume (0, 1, 2 L/m² or 4 L/m²) and stage of plant growth at deposition (vegetative or reproductive) on the growth characteristics of *Stipa bungeana*, *Artemisia capillaries* and *Lespedeza davurica* in Steppe grassland were determined. Measurements quantified treatment effects on the number and size of tillers or branches, and population biomass. The results indicate that the response of the three plant species to sheep urine deposition differs, and is influenced by both urine volume and stage of growth at deposition. Urine deposition had a short-term (1—4 weeks after application) scorch effect on grassland plant growth, which mainly occurred in the inner zone of urine patches. Application of urine had a long-term positive effect (> 4 weeks after application) on *S. bungeana* growth and a long-term negative effect on *A. capillaries* and *L. davurica* growth, which lasted at least two years and decreased with decreasing urine

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018602);国家科技攻关计划课题资助项目(2004BA528B-1-3);国家教育部博士点基金资助项目(20030730008)

收稿日期:2006-12-18; **修订日期:**2008-02-28

作者简介:于应文(1969~),男,甘肃永登人,博士,副教授,主要从事草地生态学的教学与科研工作. E-mail: yuyw@lzu.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhibiao@lzu.edu.cn

致谢:英国草地与环境研究所 Dr Mariëcia Fraser 对英文摘要作了详细修改,谨致谢忱!

Foundation item: The project was financially supported by the State Key Basic Research and Development Plan of China (No. G2000018602), State Key Project of Science and Technology of China (No. 2004BA528B-1-3) and the Doctoral Foundation Item Programme of Education Ministry of China (No. 20030730008)

Received date: 2006-12-18; **Accepted date:** 2008-02-28

Biography: YU Ying-Wen, Ph. D., mainly engaged in grassland ecology. E-mail: yuyw@lzu.edu.cn

volume. All species growing in the inner zone of urine patches (equivalent to 4 L/m^2) were harmed by sheep urine deposition. While some species from the middle zone of patches ($2-4 \text{ L/m}^2$) were also harmed, no species were harmed in the outer zones ($1-2 \text{ L/m}^2$). *S. bungeana* in higher sheep urine deposition plots ($2-4 \text{ L/m}^2$) had higher mean annual tiller numbers and aboveground biomass, whereas *L. davurica* and *A. capillaries* exhibited an inverse trend. All species growing in urine patches had a higher percentage of dead tillers or branches, and a higher percentage of dead biomass at first harvest. The reproductive and vegetative stages of *A. capillaries* and the reproductive stages of *S. bungeana* and *L. davurica* were sensitive to sheep urine deposition. In addition, *S. bungeana* growing in urine patches became active earlier in the spring and delayed senescence until later in the growing season than the control.

Key Words: sheep urine; urine deposition volume; steppe grassland; *Stipa bungeana*; *Lespedeza davurica*; *Artemisia capillaries*; growing characteristics

草地放牧系统中,家畜粪、尿排泄作为一种重要的土壤施肥措施,类似于无机 N、P、K 的添加,通过其与草地植物的互作,被草地植物吸收^[1,2]。畜尿沉积通常促进禾草分蘖,使其分蘖重增加,株高和产量提高^[3~8]。虽然尿斑仅覆盖草地面积的 4%~20%,但对长期放牧草地而言,其系统生产力维持和发展主要决定于草地可利用养分的循环。同时,畜尿沉积通过引起草地营养微环境而导致草地植被斑块分布^[3~7]。因此,畜尿对草地植物生长、群落结构变化和养分循环等起关键作用,并日益受中外学者关注。

以往畜尿对草地植物的研究集中于天然禾草和人工草地,主要限于单一尿量下以禾草为研究对象的试验^[3~7],缺乏杂类草和豆科植物的同期施尿研究。通过羊尿对典型草原多年生密丛型禾本科植物长芒草、多年生轴根型菊科植物茵陈蒿和多年生半灌木豆科植物胡枝子生长的影响分析,阐明不同植物种群对羊尿添加的响应及不同尿量下的分异特性,为草地演替机制的揭示提供科学理论依据。

1 材料方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省环县甜水镇大梁洼村——兰州大学草地农业科技学院野外试验点。地理坐标为 37.12°N 和 106.82°E ,海拔 1650m。年均气温 7.1°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年积温 2487.3°C ,无霜期 123d,年日照时数 2766.4 h,日照率 62% 以上。年均降雨量 359.3 mm,约 70% 的降水集中于 5~9 月份;年均蒸发量 1993.3mm,年 > 8 级大风日 35 d 以上,风沙严重,属黄土高原沟壑区典型大陆型季风气候。土壤为黄绵土。

植被类型为天然半干旱典型草原。草地优势植物为长芒草、茵陈蒿和胡枝子。草地植物 4 月中旬返青,6 月下旬至 8 月下旬进入旺盛生长期,9 月下旬左右开始枯黄。研究区在 2001 年前属公共放牧地,连续牧羊多年,草地退化严重。

1.2 羊尿收集与贮藏

施尿前,将已收集的研究地主要放牧家畜滩羊的尿装在密封塑料桶,置于冷凉窑洞中贮存。施尿时,按试验设计要求,以距地面约 30cm 高度,于 18:00 左右,用喷壶均匀喷施于试验小区;并参照气候条件,确保施尿前 2 日和施尿 1 日内无降雨发生。

1.3 试验样区设置

2001 年秋季,选择地势平缓、植被均匀,面积为 0.25 hm^2 ($50\text{m} \times 50\text{m}$) 的样区围栏封育。2003 年 4 月,以试验区 3 种优势植物长芒草(C_3)、茵陈蒿和胡枝子为研究植物进行试验小区布设。试验前,为排除其它植物对目标植物的种间竞争干扰,所有研究小区除仅留 1 种目标植物外,移去其它所有非目标植物及凋落物。每种植物的各重复小区样方大小为 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$,并确保各植物样方小区内至少 10 株长芒草、10 株胡枝子、5 株茵陈蒿存在。

1.4 试验设计

每种植物分别设 4 个尿量和 2 个施尿期,共 8 个处理,4 次重复。同植物施尿日期处理间间隔 1m 以上,

施尿量间隔 50 cm, 重复间隔 20 cm。尿量水平为 4 L/m² (U4), 2 L/m² (U2), 1 L/m² (U1) 和 0 L/m² (CK, 对照或非尿斑), 约相当于 49.2, 24.6, 12.3 和 0 g N/m² (尿 N 含量为 12.3 mg/kg $\pm$ 0.32 mg/kg, $N=54$); 施尿日期为 2003 年 5 月 28 或 29 日 (长芒草生殖期, 茵陈蒿和胡枝子营养期), 8 月 1 日、4 日或 5 日 (长芒草生殖期后的再生期, 茵陈蒿和胡枝子生殖期)。

死、活分蘖(枝)数测定。2003 年, 于施尿前、施尿后 1 月以周间隔、1 月后以约 2 周间隔观测各植物活个体数, 长芒草测至 9 月份, 胡枝子和茵陈蒿测至 10 月份; 于初刈时 (施尿后 1 月) 测定各植物死亡分蘖(枝)数, 由死亡分蘖(枝)数除以初始(施尿前)分蘖(枝)数来计算各植物的分蘖(枝)死亡率。2004 年, 于 4~9 月份的每月中旬进行长芒草分蘖数测定, 5 月、7 月和 9 月中旬进行茵陈蒿和胡枝子分枝数测定。

地上生物量和分蘖(枝)重测定。2003 年, 5 月施尿的长芒草于 6 月末、7 月末和 9 月初刈割测定, 胡枝子和茵陈蒿生物量于 6 月末和 10 月初测定; 8 月施尿的长芒草仅于 9 月初测定, 胡枝子和茵陈蒿于 10 月初测定; 且初次刈割的各植物地上生物量均按死、活物质分开。2004 年, 各试验小区均于 10 月下旬测定。2a 收获的地上生物量均烘干称重。分蘖(枝)重 = (年总地上活生物量)/(生长期末期总分蘖数); 死物质率(%) = (初次刈割死生物量)/(初次刈割死生物量 + 初次刈割的活生物量)。

为修正试验样方内初始分蘖(枝)数的密度差异, 各种群植物分蘖(枝)数均用相对分蘖数表示, 即由每种植物每次测定的分蘖(枝)数除以其初始分蘖数计算得出。

1.5 数据分析

用 SPSS 统计分析软件(10.0)对不同施尿量间各植物年均分蘖(枝)数、分蘖(枝)重、种群生物量、施尿 1 月后的分蘖(枝)死亡率或死活物质率进行单因素方差分析, 并进行 5% 水平的 LSD 检验。亦进行各植物不同观测期尿斑(4, 2 L/m² 和 1 L/m² 施尿量水平分蘖(枝)数均值)和非尿斑(对照)间的分蘖(枝)数间 5% 水平的差异显著性分析。

2 结果分析

2.1 植物种群分蘖(枝)数

2.1.1 分蘖(枝)数季节动态

图 1 显示, 羊尿对 3 种草地植物分蘖(枝)数均有显著影响($P < 0.05$)。2003 年, 5 月份施尿期尿斑与非尿斑处长芒草分蘖数在施尿 1 月内变化小, 从 7 月末开始快速增加, 于 8 月末出现分蘖数高峰值, 随后快速下降直至生长季结束; 且 5 月份施尿期尿斑处长芒草分蘖数在施尿后第 2~4 周显著低于对照($P < 0.05$), 但在施尿后第 12~14 周则与之相反; 8 月份施尿期长芒草分蘖数则在斑块类型间差异不显著($P > 0.05$)。2004 年, 不同施尿期的尿斑与非尿斑处长芒草分蘖数均呈增加→降低→增加趋势, 于 9 月份达高峰值, 7 月份达最小值; 且 5 月份和 8 月份施尿期尿斑处长芒草分蘖数分别于 5~6 月份和 7 月份高于对照($P < 0.05$)。

每期施尿的茵陈蒿分枝数均为尿斑低于对照($P < 0.05$)。2003 年, 5 月份施尿期的胡枝子, 其尿斑处分枝数在施尿后第 6 周即显著低于对照($P < 0.05$), 并维持这种趋势至生长季末期; 而 8 月份施尿期尿斑处胡枝子分枝数则在各观测期均显著低于对照($P < 0.05$)。2004 年, 5 月份施尿期的胡枝子分枝数在斑块类型间差异不显著($P > 0.05$), 8 月份施尿期则为尿斑比非尿斑低($P < 0.05$)。

可见, 羊尿对长芒草分蘖的负效应于 2~4 周表现出来, 持续时间约 1 月, 但对其分蘖的正效应可持续于试验第 2 年; 对茵陈蒿和胡枝子分枝的负效应, 分别在施尿后第 1 周、第 1 或 6 周表现出来, 其负效应持续至试验第 2 年生长季末期。

2.1.2 年均分蘖(枝)数

图 2 显示, 尿量处理对 3 种植物年均相对分蘖(枝)数均有显著影响($P < 0.05$)。2003 年, 施尿量处理对长芒草年均分蘖数无显著影响($P > 0.05$); 2004 年, 5 月份和 8 月份施尿期高施尿量(4 L/m²)处理长芒草年均分蘖数分别为 2.4 和 2.0 个蘖/蘖, 显著高于其它施尿量处理($P < 0.05$), 且其分蘖数在 2、1 L/m² 和 0 L/m² 施尿量处理间差异不显著($P > 0.05$)。各期施尿的茵陈蒿年均分蘖(枝)数均随施尿量的增加而显著降低

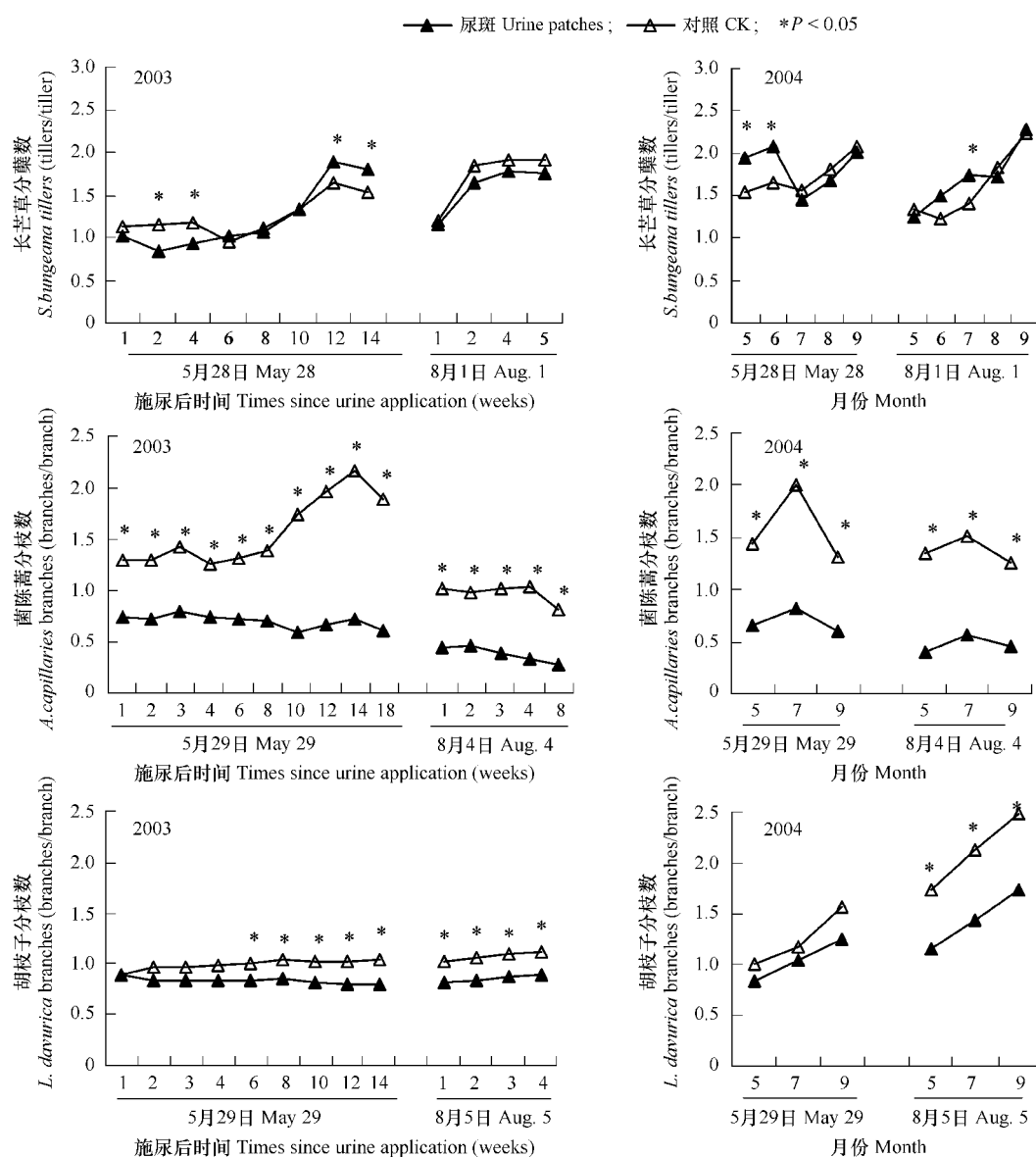


图1 羊尿对长芒草、茵陈蒿和胡枝子草分蘖(枝)数季节动态的影响

Fig. 1 Effects of sheep urine on plant tillers or branches seasonal dynamics

($P < 0.05$); 胡枝子年均分枝数一般为对照比高施尿量(4 L/m^2)处理高($P < 0.05$)。因此,高施尿量对长芒草分蘖的促进效应在施尿后第2年才体现出来,施尿降低胡枝子和茵陈蒿的分枝数。

2.2 植物种群分蘖(枝)重和地上生物量

羊尿添加对3种植物分蘖(枝)重均有显著($P < 0.05$)影响(图3)。5月份施尿期的长芒草,2003年,高施尿量(4 L/m^2)的分蘖重低于对照,且比2和 1 L/m^2 施尿量的高($P < 0.05$);2004年随施尿量增加呈显著增加变化($P < 0.05$);8月份施尿期的长芒草,3个施尿量间的分蘖重2003年相近,并高于对照($P < 0.05$),但2004年施尿量对其分蘖重无显著影响($P > 0.05$)。5月份施尿期茵陈蒿,2003年 2 L/m^2 和2004年 4 L/m^2 施尿量具高的分枝重,且高于对照($P < 0.05$);8月份施尿期则为尿斑的分枝重显著低于对照($P < 0.05$)。5月份施尿期胡枝子,仅2003年其分枝重随施尿量增加而显著增加($P < 0.05$),而8月份施尿期则于2003年和2004年均随施尿量增加呈显著降低变化($P < 0.05$),表明,植物不同生长期施尿时,尿量对其分蘖(枝)重影响因植物种而异。

5 月份施尿期 2003 年和 8 月份施尿期 2004 年的长芒草地上生物量,均为较高施尿量(4 L/m^2 和 2 L/m^2)处理间相近($P > 0.05$),显著高于对照和低施尿量处理(1 L/m^2)($P < 0.05$);但 5 月份施尿期 2004 年和 8 月份施尿期 2003 年长芒草地上生物量则在不同施尿量间差异不显著($P > 0.05$)(图 3)。5 月份施尿期高施尿量显著降低茵陈蒿 2003 年地上生物量,其 2004 年地上生物量随施尿量增加呈显著降低趋势($P < 0.05$);8 月份施尿期仅显著降低施尿当年茵陈蒿地上生物量($P < 0.05$)。5 月份施尿期对胡枝子地上生物量影响小($P > 0.05$),8 月份施尿期尿斑地上生物量显著低于对照,且其生物量随施尿量增加而显著降低($P < 0.05$)。可见,羊尿添加一般降低茵陈蒿和胡枝子地上生物量;高施尿量处理增加 5 月份施尿期施尿当年和 8 月份施尿期施尿翌年长芒草地上生物量。

2.3 植物种群分蘖(枝)死亡率和死物质率

图 4 显示,5 月份施尿期的羊尿添加显著增加长芒草分蘖死亡率($P < 0.05$),其分蘖死亡率在 $4, 2 \text{ L/m}^2$ 和 1 L/m^2 施尿量间差异不显著($P > 0.05$),且尿斑约为对照的 6 倍;8 月份施尿期的羊尿对其分蘖死亡率无显著影响($P > 0.05$)。5 月份施尿期 3 个施尿量处理的茵陈蒿具较高的分枝死亡率(约 83% ~ 95%);而 8 月份施尿期 4 L/m^2 施尿量的分枝死亡率较高,约 95%,显著高于 2 L/m^2 的 3.5%, 1 L/m^2 施尿量处理则无死亡分枝数出现。5 月份和 8 月份施尿期的胡枝子分枝死亡率在 4 L/m^2 施尿量下较高,分别为 36% 和 28%;2 和 1 L/m^2 施尿量间相近($P > 0.05$),分别为 6% ~ 12% 和 20%,且显著低于 4 L/m^2 施尿量处理($P < 0.05$)。

除 8 月份施尿期尿斑处($4, 2 \text{ L/m}^2$ 和 1 L/m^2 施尿量处理)长芒草死物质率显著高于对照外($P < 0.05$),各植物的死物质率均随施尿量增加呈显著增加变化($P < 0.05$);其中,较高施尿量处理的茵陈蒿的死物质率最高,长芒草居中,胡枝子最低(图 4)。表明,羊尿添加显著增加 3 种植物的分蘖(枝)死亡率,高施尿量处理具较高的分蘖(枝)死亡率,各植物死物质率主要由其分蘖(枝)死亡率决定。

3 讨论

由于畜尿的非均匀分布,使尿斑中心及边缘的尿浓度和成分差异很大^[9];成年绵羊尿斑量 $150 \sim 200 \text{ ml}$,尿斑大小 $0.03 \sim 0.04 \text{ m}^2$ ^[10]。虽然以往畜尿研究的尿量界于 $3 \sim 11 \text{ L/m}^2$ ^[3~7],含 N 量界于 $20 \sim 80 \text{ g N/m}^2$ ^[3~8];但均为单一施尿量;尽管 Jaramillo 和 Detling 将尿斑自中心向外分为 3 圈,但仅在 8 L/m^2 施尿量下进

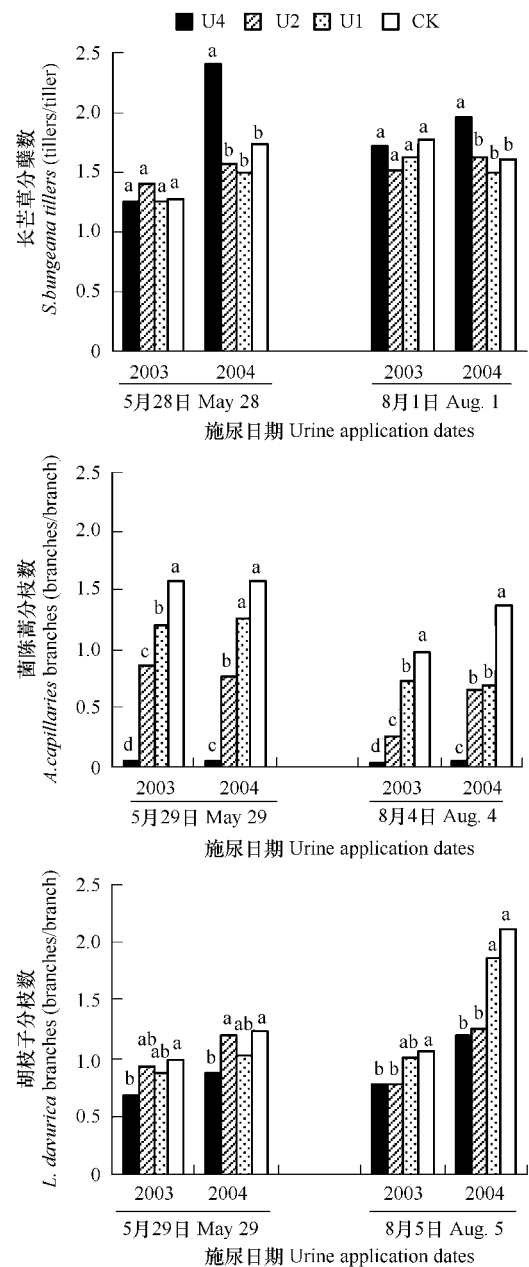


图 2 羊尿对植物种群年均分蘖(枝)数的影响,相同施尿期相同年份不同施尿量的均值标不同字母者在 $P < 0.05$ 水平上差异显著

Fig. 2 Effects of sheep urine on plant tillers or branches averaged at individual dates over each year, the means of each year at the same urine application dates labeled with different minuscule were significantly different at $P < 0.05$ levels

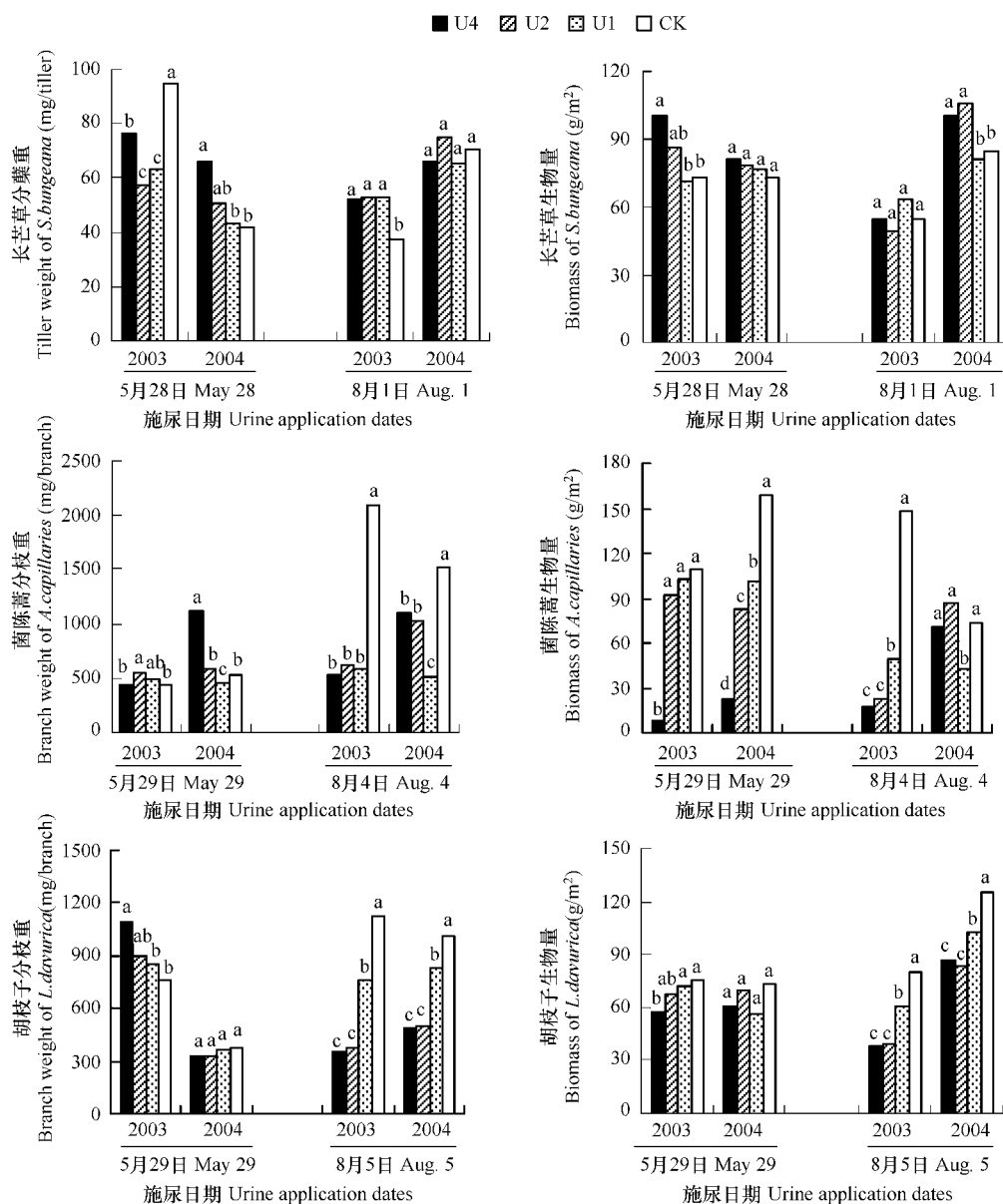


图3 羊尿对植物种群分蘖(枝)重和地上生物量的影响

Fig. 3 Effects of sheep urine on plant tiller or branch weights and aboveground (including of dead matter)

相同施尿期相同年份不同施尿量的均值标不同字母者在 $P < 0.05$ 水平上差异显著 the means of each year at the same urine application dates labeled with different minuscule were significantly different at $P < 0.05$ levels

行了尿斑不同位置草地植物生长特性的比较研究^[4]。本研究在假定尿斑为圆形前提下,结合尿斑扩散特征将尿斑由里至外划分为中心圈、中心至边缘圈和外渗圈3部分;由试区尿斑观测结果得知,尿斑由里至外3圈分别约占其总面积的15%、45%和40%,且尿液浓度由尿斑中心至边缘逐渐降低(图5)。在此基础上,参照尿斑量和尿斑大小设4个尿量水平(0~49.2 g N/m²),其中,3个尿斑水平(4, 2 L/m²和1 L/m²)分别代表尿斑中心、中心至边缘圈及外渗圈,1个对照水平代表非尿斑。以弥补以往研究单一施尿量的不足,不仅能分析斑块类型间草地植物差异,还能揭示尿斑各部分草地植物的分异特征。

3.1 植物种群生长对羊尿的响应

研究显示,不同植物对畜尿沉积的响应不同,这可能与3种植物自身生长特性有关。胡枝子分枝沿地面平行生长,具阔叶型叶片,其与直立或半直立生长的长芒草相比,营养期具较多嫩小分枝和较少的叶,生殖期

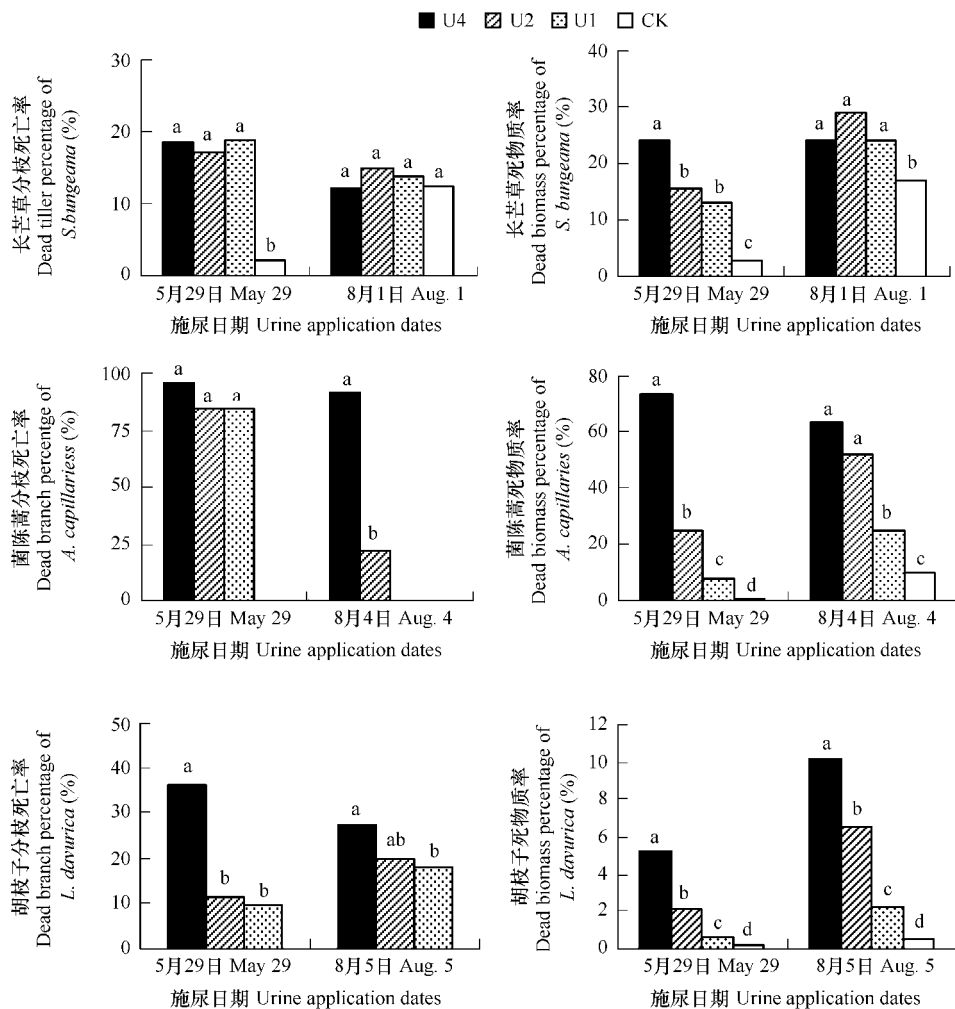


图4 羊尿对种群植物分蘖(枝)死亡率和死物质率的影响,相同施尿期不同施尿量间均值标不同字母者在 $P < 0.05$ 水平上差异显著

Fig. 4 Effects of sheep urine on dead tillers or branches and dead biomass percentages of three species, the means at the same urine application dates labeled with different minuscule were significantly different at $P < 0.05$ levels

具较多叶;故其暴露于畜尿中 NH_3 毒害的枝条多、叶面积大。茵陈蒿虽非阔叶类植物,但其营养期叶片较多,以辐射状平行或锐角生长;而其生殖期虽叶片少但新分枝多,从而营养期5月末施尿其叶片和嫩枝条受尿影响面积大,生殖期8月施尿则有更多新分枝暴露于畜尿环境而易受尿中 NH_3 的伤害。

施尿1月内,尿斑处3种植物分蘖(枝)死亡率或死物质率均比非尿斑处高;此与 Floate、Richards 和 Wolton 及 Shand 等的研究,植物根部易受尿斑处尿 N 矿化作用产生的高浓度 NH_3 毒害,而使尿斑植物普遍存在短期灼烧的结果一致^[11~13]。羊尿对长芒草分蘖的短期抑制和长期促进效应,亦与 Ritchey 等的报道,尿灼烧后,畜尿对草地植物生长的正效应,随施尿时间的进一步推移,尿灼烧区植物盖度逐渐恢复的结果类似^[14]。

羊尿对长芒草生长具长期正效应,对胡枝子具持续负效应。此与 Day 和 Detling 和 Jaramillo 和 Detling 在美国天然禾草草地的研究,肉牛尿增加草地死物质质量,促进禾草分蘖,增加蘖重及生物量^[3~5];Schwining 和 Parsons 的报道,畜尿沉积通过打破尿斑处 N 平衡和种间竞争关系而使尿斑处禾草成分增加,豆科草成分降低^[15];Vinther 在丹麦黑麦草(*Lolium perenne*)/白三叶(*Trifolium repens*)草地的研究,肉牛尿通过降低草地中豆科草的生长和固氮作用而缩减尿斑处豆科草成分,增加禾草成分^[16];Petersen 等发现,豆科草比禾草受畜尿灼烧严重^[17];以及 Williams 等在英国人工和半人工禾草草地的研究,羊尿促进禾草生长,增加其产量和 N 成分的结论类似^[18]。羊尿对杂类草茵陈蒿生长的持续负效应与 Steinauer 和 Collins 的报道,尿斑处3种菊科灌木

木紫菀 (*Aster ericoides*)、蒿类 (*A. ludoviciana*)、豚草 (*Ambrosia psilostachya*) 盖度增加,以及于应文等的报道,49.2g N/m²的羊尿在 4.1 ~ 6.15g N/L 的尿液浓度下对典型草原杂类草植物委陵菜 (*Potentilla bifurca*) 叶片生长具显著正效应的结果存在分异^[6,7,19]。可能因不同杂类草植物生长和遗传特性不同而对畜尿的响应不同所致。此外,本研究畜尿效应持续于整个试验期 (2a),比 Morton 和 Baird 的报道,畜尿对草地植物分蘖的效应持续 6 ~ 12 个月长^[10],但与 Jaramillo 和 Detling 的发现,牛尿对草地禾草植物分蘖的效应持续于施尿第 2 年类似^[4]。试验期间,亦观测到尿斑处长芒草枯黄期延迟、返青期提前,可能是畜尿增加了植物 N 含量,降低了叶片的年龄,使其生长期加长的缘故。

可见,无论牛尿还是羊尿,天然草地还是人工草地,畜尿对草地植物的短期灼烧作用普遍存在,对牧草的作用虽因植物种而异,持续时间较长 (2a),但一般禾草受益、豆科牧草受害、杂类草因种而异。

3.2 尿量效应

尿量对 3 种草地植物生长的总体作用表现为:(1)尿斑中心 (4 L/m²) 所有植物伤害,尿斑中心至边缘圈植物局部器官 (嫩枝叶) 伤害 (2 ~ 4 L/m²),尿斑外渗区域 (1 ~ 2 L/m²) 所有植物无显著伤害;(2)随尿量降低,羊尿对长芒草生长的正负效应,以及对茵陈蒿和胡枝子生长的负效应逐渐降低;且高施尿处理 (2 ~ 4 L/m²) 下的种群植物具较高的死亡分蘖 (枝) 率和死物质率。这主要是因尿斑中心畜尿浓度高、氨挥发量多,尿斑外渗区域尿浓度低,氨挥发也少,从而草地植物受尿斑的灼烧影响也因其所处尿斑位置不同而异,使尿斑中心至边缘不同区域草地植物对畜尿沉积的响应不同。此与 Richards 和 Wolton 的报道,草地植物灼烧作用与尿中氨挥发量有关,高尿量因氨挥发多而对草地植物的灼烧严重^[14];Jaramillo 和 Detling 的报道,尿斑中心格兰马草 (*Bouteloua gracilis*) 的分蘖密度和生物量显著高于尿斑中心至尿斑边缘和外渗圈,且从中心至尿斑外渗圈其分蘖密度逐渐降低的结论相似^[4]。表明,畜尿对草地植物的灼烧主要发生于尿斑中心,尿斑中心及尿斑中心至边缘圈对草地禾草植物的促进效应显著。

3.3 施尿期效应

鉴于施尿期对植物生长的影响实际由刈割次数和施尿期的互作产生,本研究未分析施尿期的效应;但不同施尿期 3 种植物的分蘖 (枝) 数、个体重和生物量等结果显示,茵陈蒿对各时期施尿均反应敏感,胡枝子和长芒草对生殖期施尿更敏感。5 月份长芒草生殖期施尿时,畜尿沉积当年生长季末期和翌年高施尿区具较高的分蘖数;8 月份长芒草生殖期结束后施尿时,翌年较高施尿区具较高的分蘖数和地上生物量。此与 Jaramillo 和 Detling 的报道,在 6 月份中、下旬格兰马草生殖期、偃麦草 (*Agropyron smithii*) 生殖期结束后施尿时,畜尿促进施尿当年格兰马草和施尿翌年偃麦草分蘖数^[4];Langer 的报道,一些禾草生殖期后具重新分蘖能力,生殖期后施尿仍能刺激其分蘖的结果类似^[20]。因此,畜尿对植物的效应还受施尿期调节。

References:

- [1] Van den Pol-van D A, Beusichem M L V, Oenema O. Effects of nitrogen input and grazing on methane fluxes of extensively and intensively managed grasslands in the Netherlands. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29: 24 – 30.
- [2] Kebreab E, France J, Beerer D E, et al. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2001, 60: 275 – 285.

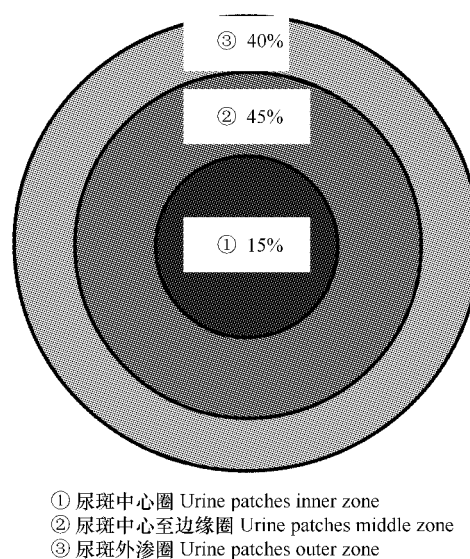


图 5 尿斑扩散特征示意图

Fig. 5 The spread characteristics of urine patches

- [3] Day T A, Detling J K. Grassland patch dynamics and herbivore grazing preference following urine deposition. *Ecology*, 1990, 71(1):180—188.
- [4] Jaramillo V J, Detling J K. Small-scale heterogeneity in a semi-arid North American grassland I. Tillering, N uptake and retranslocation in simulated urine patches. *Journal of Applied Ecology*. 1992a, 29:1—8.
- [5] Jaramillo V J, Detling JK. Small-scale heterogeneity in a semi-arid North American grassland II. Cattle grazing of simulated urine patches. *Journal of Applied Ecology*, 1992b, 29: 9—13.
- [6] Steinauer E M, Collins S L. Effects of urine deposition on small-scale patch structure in prairie vegetation. *Ecology*, 1995, 76:1195—1205.
- [7] Steinauer E M, Collins S L. Feedback loops in ecological hierarchies following urine deposition in tallgrass prairie. *Ecology*, 2001, 82:1319—1329.
- [8] Wilsey B. Clonal plants in a spatially heterogeneous environment: effects of integration on Serengeti grassland response to defoliation and urine-hits from grazing mammals. *Plant Ecology*, 2002, 159:15—22.
- [9] Doak B W. Some chemical changes in the nitrogenous constituents of urine when voided on pasture. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1952, 42:162—171
- [10] Morton J D, Baird D B. Spatial distribution of dung patches under sheep grazing. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1990, 33:285—294.
- [11] Richards I R, Wolton K M. The spatial distribution of excreta under intensive cattle grazing. *Journal of the British Grassland Society*, 1976, 31:89—92.
- [12] Shand C A, Williams B L, Dawson L A, *et al.* Sheep urine affects soil solution nutrient composition and roots: differences between field and sward box soils and effects of synthetic and natural sheep urine. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34: 163—171.
- [13] Floate M J S. Effects of grazing by large herbivores on nitrogen cycling in agricultural ecosystems. In: Clark F E, Rosswall T eds. *Terrestrial nitrogen cycles: processes, ecosystem strategies and management impacts*. *Ecological Bulletins-NFR*, 1981, 33: 585—601.
- [14] Ritchey K D, Boyer D G, Turner K E, *et al.* Surface limestone application increase ammonia volatilization from goat urine in abandoned pastures. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2003, 23:115—125.
- [15] Schwining S, Parsons A J. Analysis of the coexistence mechanisms for grasses and legumes in grazing systems. *Journal of Ecology*, 1996, 84:799—813.
- [16] Vinther F P. Biological nitrogen fixation in grass-clover affected by animal excreta. *Plant and Soil*, 1998, 203:207—215.
- [17] Petersen S O, Sommer S G, Aaes O, *et al.* Ammonia losses from urine and dung of grazing cattle: Effect of N intake. *Atmospheric Environment*, 1998, 32: 295—300.
- [18] Williams B L, Shand C A, Sellers S, Yound M E. Impact of synthetic sheep urine on N and P in two pastures in the Scottish uplands. *Plant and Soil*, 1999, 214:93—103.
- [19] Yu Y W, Chang S H, Xiao J Y, *et al.* The shorter-term effect characteristics of Tan-sheep urine on growth of three plants in steppe grassland. *Chinese Journal of Grassland*, 2007, 29(2): 81—84.
- [20] Langer R H M. *How Grasses Grow*. London, Edward Arnold, 1979.

参考文献:

- [19] 于应文, 常生华, 肖金玉, 等. 滩羊尿对典型草原 3 种草地植物生长的短期作用特性. *中国草地学报*, 2007, (2): 81~85.