

放牧与围封对黄土高原典型草原植物 生物量及其碳氮磷贮量的影响

董晓玉, 傅华*, 李旭东, 牛得草, 郭丁, 李晓东

(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开放实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:将黄土高原典型草原植物亚生态系分为地上活体、立枯物、凋落物和地下根系 4 个部分, 进行放牧与围封草地植物生物量及其碳、氮、磷贮量的研究。结果表明, 放牧与围封草地各组分碳、氮、磷贮量的季节动态模式与其对应生物量变化规律一致; 碳、氮、磷贮量均与生物量呈极显著正相关($P < 0.01$), 其相关系数分别为 0.990, 0.899 和 0.936(FG), 0.990, 0.891 和 0.936(GG); 封育和放牧草地植物间各部分碳、氮、磷贮量差异均由各自生物量差异引起。围封草地植物总生物量和地上、地下生物量、立枯物、凋落物的量, 以及碳、氮、磷贮量一般高于放牧样地($P < 0.05$)。地上活体氮、磷贮量在其生物量最大时最高(7 月), 此时围封草地地上活体氮、磷贮量(1.291 8, 0.083 7 g/m^2)显著低于放牧草地(1.529 7, 0.100 2 g/m^2)($P < 0.05$)。放牧草地主要通过地上幼嫩器官生物量和氮、磷含量的增加来获得较大氮磷贮量, 并以此提高草地利用率。

关键词:典型草原; 放牧; 植物生物量; 碳; 氮; 磷

中图分类号:S812.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2010)02-0175-08

* 草地生态系统是一个极为重要的生态系统类型。据统计, 我国草地总面积约为 4 亿 hm^2 , 占国土面积的 40% 以上, 为我国面积最大的陆地生态系统^[1]。但由于长期超载过牧等不合理利用, 致使草地生态系统结构受到严重破坏, 功能急剧退化, 使其成为受人类活动影响最为严重的区域之一^[2-4]。生物量是研究植被净初级生产力的基础, 是评价生态系统结构与功能的重要参数^[5]。生物量对研究系统的营养物质分配和营养物质循环具有重要意义^[6,7]。碳、氮、磷是生命体实现能量代谢、遗传变异及信息表达等生命过程的基础元素, 也是自然界生命体含量较为丰富的元素, 在草地生态系统物质循环过程中处于核心地位, 并受到学术界普遍关注^[8]。虽然适度放牧条件下, 草地生态系统的年净初级生产力能通过植物的补偿性生长增加, 并由此促进动物生产层的生产^[9]。但草、畜产品从草地农业生态系统输出时, 造成矿质元素(氮磷等)从草地系统的流失; 且草地利用由游牧转变为半舍饲放牧(白天放牧夜晚家畜入圈管理)时, 亦减少家畜粪便向草地的返还。由此导致草地生态系统养分循环失衡。

我国草地生态系统中碳、氮、磷元素循环的研究始于 20 世纪 80 年代, 集中于系统内氮、磷、钾等营养元素在各贮量间的分配(贮量)以及周转速率的估算^[10-15]。近年, 随计算机技术和计算数学在草地生态系统中的不断应用, 以及草畜系统优化的需要, 进行草地生态中各营养元素在各贮量内的动态特征分析十分必要^[16,17]。因此, 探讨放牧对草地生态系统元素循环特征的影响, 确定合理的草地利用方式, 有利于草地生态系统平衡的维持及畜牧业的稳定与发展。本研究将植物贮量分为地上活体、立枯物、凋落物和地下生物 4 个部分, 对放牧与封育条件下黄土高原典型草原区植物生物量及碳、氮、磷元素贮量与动态进行定量分析, 为草地管理和元素循环中数学模型的建立提供理论及实践依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

研究样地设在兰州大学国际地面气候与环境监测站及周围区域, 位于甘肃省榆中县北部夏官营镇, 地理坐标

* 收稿日期: 2009-03-26; 改回日期: 2009-04-24

基金项目: 国家基金重点项目(90711002), 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2007CB108903)和国家科技支撑计划项目(2008BAD95B03)资助。

作者简介: 董晓玉(1983-), 女, 河南安阳人, 在读硕士。E-mail: dongxy06@lzu.cn

* 通讯作者。E-mail: fuhua@lzu.edu.cn

为北纬 $35^{\circ}57'$, 东经 $104^{\circ}09'$, 海拔为 1 965.8 m。地貌为黄土高原残塬梁峁沟壑, 属大陆性半干旱气候, 年平均气温 6.7°C , 年降水量 382 mm, 蒸发量 1 343 mm, 无霜期 90~140 d。年日照时数约 2 600 h。植被类型为半干旱典型草原, 塬面草地群落建群种为本氏针茅 (*Stipa bungeana*), 其次为冷蒿 (*Artemisia frigida*)、铁杆蒿 (*Tripolium vulgare*)、赖草 (*Leymus secalinus*) 和阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*) 等; 土壤为灰钙土。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 在地势平缓坡向一致地段, 设置 2 块面积各为 6 hm^2 的围封 (FG, fenced grassland) 和自由放牧 (GG, grazed grassland) 样区, 每样区内设置 3 块面积为 $50\text{ m}\times 50\text{ m}$ 样地。该区域原为农田, 1986 年撂荒, 已基本恢复到天然植被。围封草地, 于 2005 年 10 月设置网围栏。围栏外为自由放牧草地, 放牧家畜为绵羊, 家畜白天放牧, 夜晚入圈管理。

1.2.2 群落生物量测定 于 2007 年 3, 5, 7, 9 月和 11 月中旬, 在每个样区内设置 6 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方, 每次每区共计 18 个样方。齐地刈割地上部分, 刈割后, 收集地面凋落物; 刈割的地上生物体按活体与立枯物分开。各植物样品 105°C 下杀青 15 min 后, 65°C 烘干称重^[18], 留样分析。在各次地上生物量收获后的样方内, 用根钻 ($d=9.3\text{ cm}$) 收集 0~50 cm 土层根样, 每个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方内取 1 钻, 共取 18 钻。干筛法获得根样 (过 0.5 mm 筛子), 用清水洗净, 65°C 烘干称重, 留样分析。

1.2.3 植物样品分析 将烘干草样粉碎过直径 0.25 mm 筛子后, 装入自封袋分析用。植物氮、磷含量: 用开氏方法消化 (浓硫酸加硫酸钾: 硫酸铜 $<10:1>$ 催化剂消化) 后, 用瑞典 FOSS 公司的 FIAstar5000 流动注射分析仪分析。植物碳含量: 重铬酸钾 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 容量法^[19]。

1.2.4 数据分析 Excel 程序作图, 用 SPSS 16.0 的 T 检验对各指标数据进行放牧与围封草地间的差异显著性分析。同时, 以地上活体、立枯物、凋落物和地下根系 4 个部分的生物量及其对应的的碳、氮、磷贮量为重复, 进行生物量与碳、氮、磷贮量间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 放牧与围封对草地生物量的影响

围封与放牧草地总生物量和地下生物量季节动态均呈“增加→降低→增加”变化模式, 其变化范围分别为 $253.48\sim 356.43\text{ g/m}^2$ (FG) 和 $167.22\sim 278.64\text{ g/m}^2$ (GG), $155.05\sim 241.38\text{ g/m}^2$ (FG) 和 $132.32\sim 203.33\text{ g/m}^2$ (GG); 总生物量和地下生物量的最大值都出现在 11 月 (图 1)。除 9 月的地下生物量外, 5—9 月, 围封草地总生物量和地下生物量均显著高于放牧草地 ($P<0.05$)。2 类草地地上生物量季节变化均呈“增加→降低”的单峰模式, 其变化范围分别为 $68.40\sim 145.92\text{ g/m}^2$ (FG) 和 $23.53\sim 95.36\text{ g/m}^2$ (GG); 最大值分别出现于 9 月 (FG) 和 7 月 (GG), 且各月份均为围封草地显著高于放牧草地 ($P<0.05$)。

围封与放牧草地地上活体生物量季节动态呈先增后降的单峰模式, 其变化范围分别为 $3.32\sim 95.09\text{ g/m}^2$ (FG) 和 $2.51\sim 81.48\text{ g/m}^2$ (GG), 最大值出现在 7 月; 5 和 9 月围封草地的地上活体均显著高于放牧草地 ($P<0.05$)。围封与放牧草地立枯物季节动态均呈先降后升的 V 型变化, 其变化范围为 $28.42\sim 109.39\text{ g/m}^2$ (FG) 和 $6.64\sim 58.87\text{ g/m}^2$ (GG), 均为围封草地显著高于放牧草地 ($P<0.05$); 且其最小值均出现在 7 月。两样地凋落物季节动态亦呈先增后降趋势, 其变化范围为 $4.64\sim 20.76\text{ g/m}^2$ (FG) 和 $0.09\sim 9.52\text{ g/m}^2$ (GG), 最大值出现于生长季初期; 除 3 和 11 月外, 各月草地凋落物均为围封草地显著高于放牧草地 ($P<0.05$)。

2.2 放牧与围封对植物碳贮量的影响

围封与放牧草地植物总碳贮量、地上与地下碳贮量, 以及地上活体、立枯物和凋落物的碳贮量季节动态均与其生物量变化规律一致 (图 2)。其中, 围封与放牧草地植物总碳、地上和地下生物碳贮量变化范围分别为 $126.61\sim 163.46$ 和 $77.07\sim 125.06\text{ g/m}^2$, $31.24\sim 71.08$ 和 $10.70\sim 47.44\text{ g/m}^2$, $59.13\sim 105.35$ 和 $49.59\sim 88.84\text{ g/m}^2$; 而其地上活体、立枯物和凋落物碳贮量的变化范围则分别为 $2.04\sim 45.71$ 和 $1.68\sim 41.11\text{ g/m}^2$, $13.03\sim 52.93$ 和 $2.90\sim 28.28\text{ g/m}^2$, $2.13\sim 9.24$ 和 $0.04\sim 3.97\text{ g/m}^2$ 。此外, 围封草地总碳、地上和地下碳贮量分别在 5—9 月, 3—11 月, 以及 5, 7, 11 月显著高于放牧草地 ($P<0.05$); 除 3, 7, 11 月地上活体和 11 月凋落物的碳贮量围封与放牧样地差异不显著外 ($P>0.05$), 其他各月份地上活体、立枯物和凋落物的碳贮量均为围封草地显著大

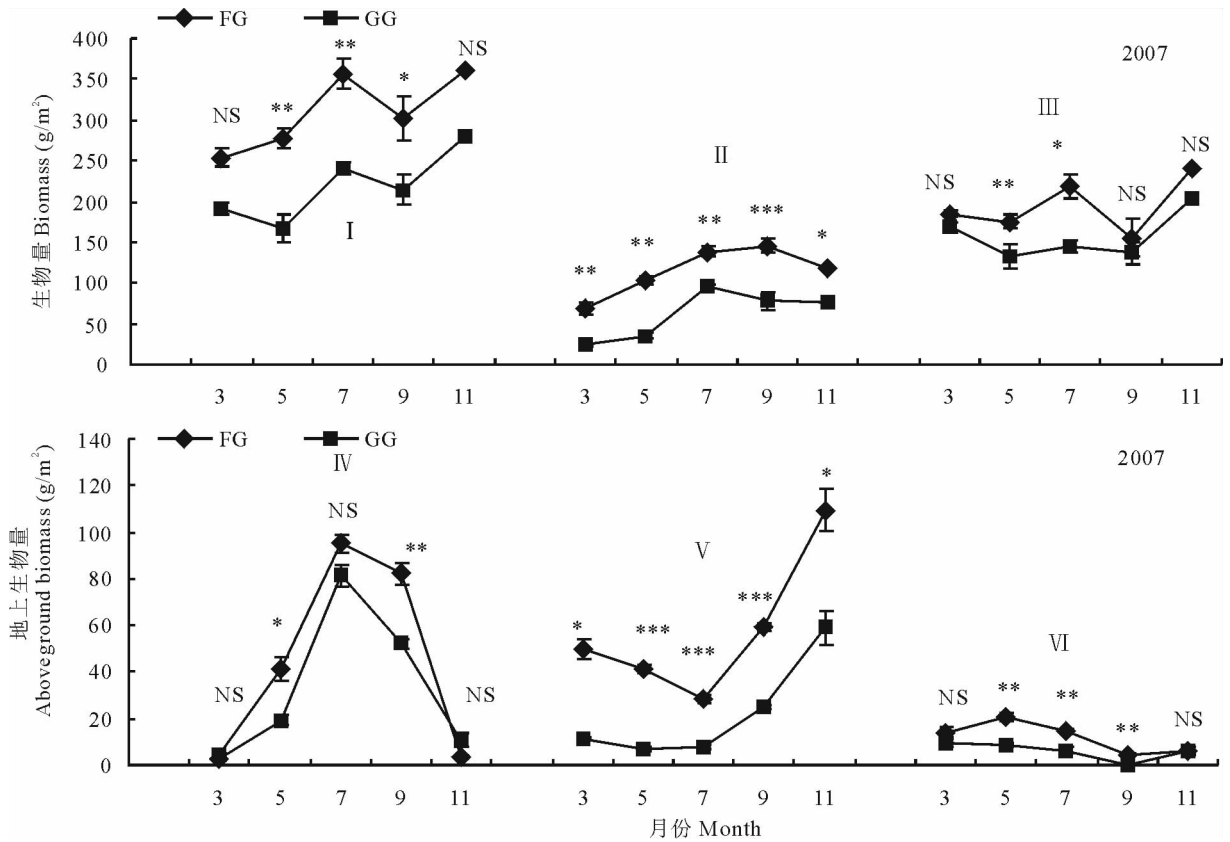


图 1 放牧与围封草地生物量季节动态

Fig. 1 The seasonal dynamics of biomass in grazed and fenced grasslands

NS, *, **, *** 分别为不显著, $P < 0.05$, $P < 0.01$ 和 $P < 0.001$ NS, *, ** and *** were no significant, $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively; I: 总生物量 Biomass; II: 地上生物量 Aboveground biomass; III: 地下生物量 Underground biomass; IV: 地上活体 Live shoot; V: 立枯物 Standing dead matter; VI: 凋落物 Litter

于放牧草地 ($P < 0.05$)。表明放牧能降低草地植物碳贮量。

2.3 放牧与围封对植物氮贮量的影响

围封与放牧草地植物总氮、地上与地下氮贮量,以及地上活体、立枯物和凋落物的氮贮量季节动态亦与其生物量或碳贮量变化规律一致(图 3)。其中,围封与放牧草地植物总氮、地上和地下生物氮贮量变化范围分别为 2.385 7~3.541 8 和 1.660 0~2.825 7 g/m^2 , 0.604 7~1.664 4 和 0.309 1~1.674 4 g/m^2 , 0.964 8~1.944 0 和 0.882 6~1.723 2 g/m^2 ; 而其地上活体、立枯物和凋落物氮贮量变化范围则分别为 0.037 3~1.291 8 和 0.078 9~1.529 7 g/m^2 , 0.239 0~0.642 0 和 0.067 2~0.364 8 g/m^2 , 0.041 6~0.136 9 和 0.000 7~0.086 7 g/m^2 。此外,围封草地 5 月总氮贮量,3,5 和 9 月地上氮贮量,以及 5 和 7 月地下氮贮量均显著高于放牧草地 ($P < 0.05$); 除 7 月围封草地地上活体氮贮量显著低于放牧草地 ($P < 0.05$),以及 3 和 11 月地上活体与 11 月的凋落物氮贮量接近外 ($P > 0.05$),其他各月份的地上活体、立枯物和凋落物的氮贮量均为放牧草地显著小于围封草地 ($P < 0.05$)。表明放牧能降低草地植物氮贮量。

2.4 放牧与围封对植物磷贮量的影响

从 3 月到 11 月,围封与放牧草地植物总磷贮量随生长季的推移呈逐渐上升趋势,其他各部分磷贮量的季节动态与其生物量或碳、氮贮量变化规律一致(图 4)。其中,围封与放牧草地植物总磷、地上和地下生物磷贮量变化范围分别为 0.209 4~0.296 5 和 0.136 8~0.271 6 g/m^2 , 0.034 9~0.116 6 和 0.020 2~0.109 9 g/m^2 , 0.101 3~0.205 3 和 0.080 3~0.205 4 g/m^2 ; 而其地上活体、立枯物和凋落物磷贮量变化范围则分别为 0.005 8~0.085 8 和 0.008 0~0.100 2 g/m^2 , 0.012 2~0.080 7 和 0.003 5~0.053 0 g/m^2 , 0.003 9~0.009 8 和 0.000 1

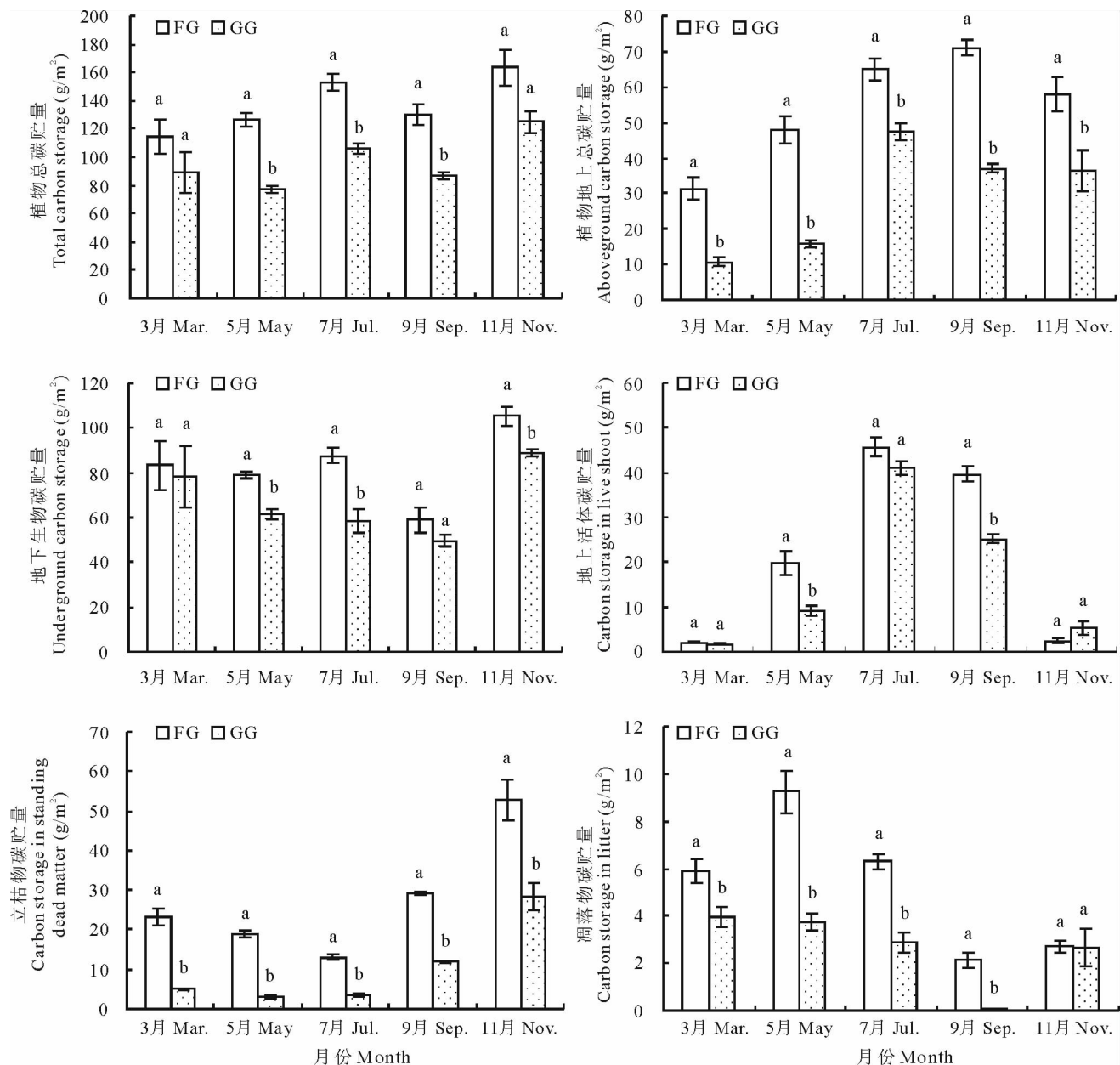


图2 放牧和围封草地植物碳贮量季节动态

Fig. 2 The seasonal dynamics of plant carbon storage in grazed and fenced grasslands

同一月份放牧和围封间均值标不同字母者差异显著($P < 0.05$)。下同 The different lowercase letters mean significant difference between FG and GC at the same sampling time ($P < 0.05$). The same below

$\sim 0.0061 \text{ g/m}^2$ 。此外,围封草地5和7月总磷贮量,3,5和9月地上磷贮量,以及7月地下磷贮量均显著高于放牧草地($P < 0.05$);且除7月围封草地地上活体氮贮量低于放牧草地外,地上活体、立枯物和凋落物的氮贮量均为放牧草地显著小于围封样地($P < 0.05$)。表明放牧能显著降低草地植物磷贮量。

3 讨论

3.1 放牧与围封对草地生物量的影响

放牧作为一种人类活动干扰因子,通过动物的采食、践踏及排泄物的输入直接或间接对草地生态系统产生影响,从而影响草地生态系统的物质生产和能量分配,间接改变草地群落结构、物种多样性和地下生物量等^[20-22]。

本研究中,3-5月,因受家畜采食影响,放牧草地地上生物量增长缓慢,且其地下生物量因植物的萌发生长而消耗大量贮存物质,故其总生物量下降。5-7月,随生长季的进一步推移,降水增加、热量充足,使草地植物生

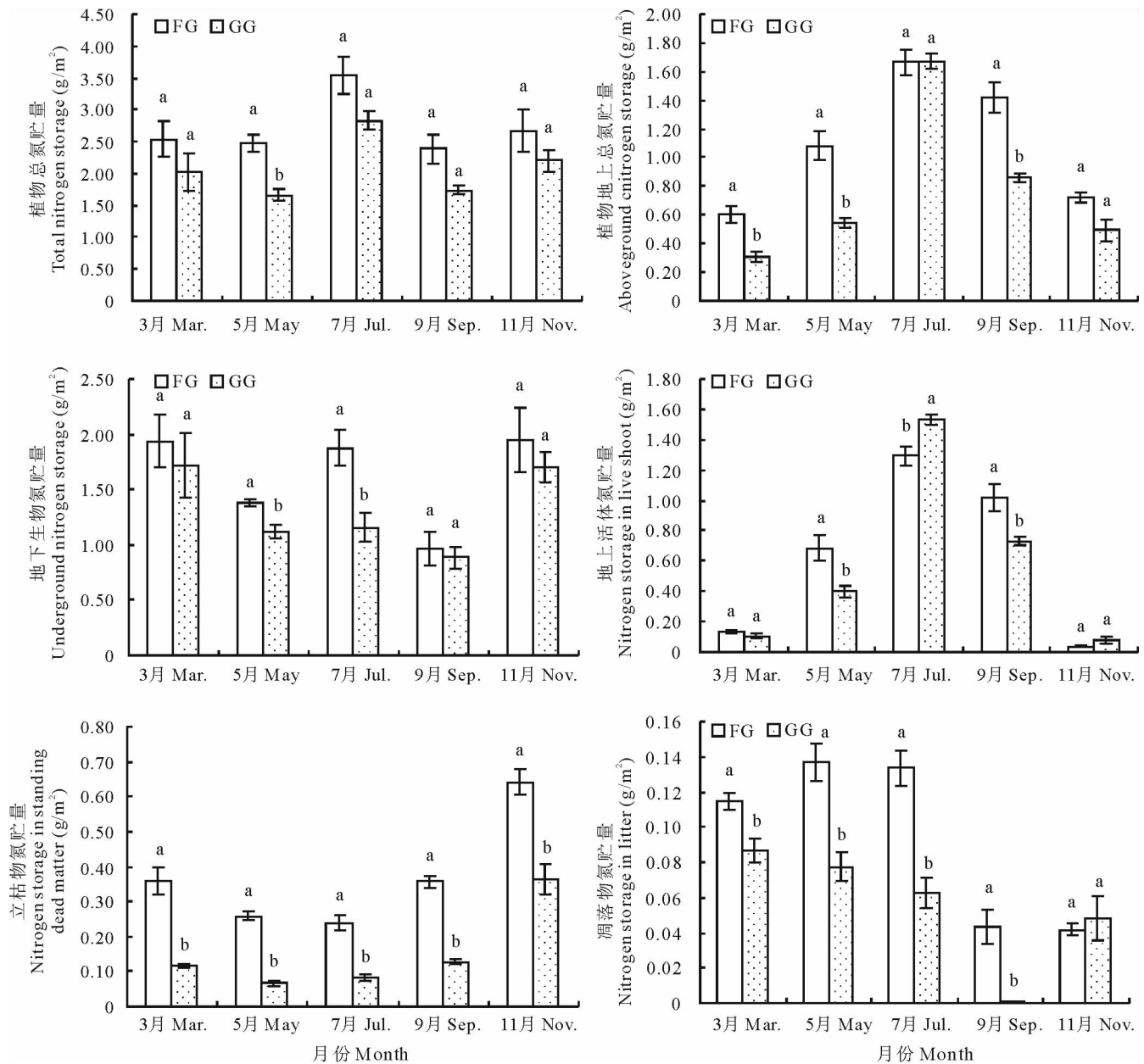


图 3 放牧和围封草地植物氮贮量季节动态

Fig. 3 The seasonal dynamics of plant nitrogen storage in grazed and fenced grasslands

长和光合同化物积累增加^[23],且家畜的放牧采食使草地植物补偿性生长^[24,25];从而使放牧草地地上活体和总生物量表现为增加趋势。7—9月,群落植物大部分处于生殖期,其光合同化物产物主要向繁殖器官转移,仅有少部分向地下器官转移,从而9月封育和放牧的地下生物量仅占草地总生物量的51.76%和64.33%;这与张娜和梁一民^[23]的研究结果,即旺盛生长季,黄土高原天然草地植物本氏针茅和铁杆蒿地上生长旺盛,地下呈负增长的结果类似。同时,因家畜采食的影响,使放牧草地地上活体低于围封草地,从而影响放牧草地的立枯物和凋落物量,使其降低并低于围封草地;且7—11月,因部分活体组织向立枯物的转变,从而引起该阶段地上活体减少而立枯物增多。

3.2 放牧与围封对草地植物碳、氮、磷贮量的影响

草地生态系统中,碳是组成植物体的结构性物质,氮磷则为生物体的功能性物质,其分布和贮量直接关系草地生态系统功能的正常发挥。本研究中,虽然因植物生育阶段和枝条营养物质含量不同^[26],而使各部分碳、氮、磷贮量季节动态不同;但围封和放牧草地群落植物各部分的碳、氮、磷贮量季节动态均与其生物量动态一致。在

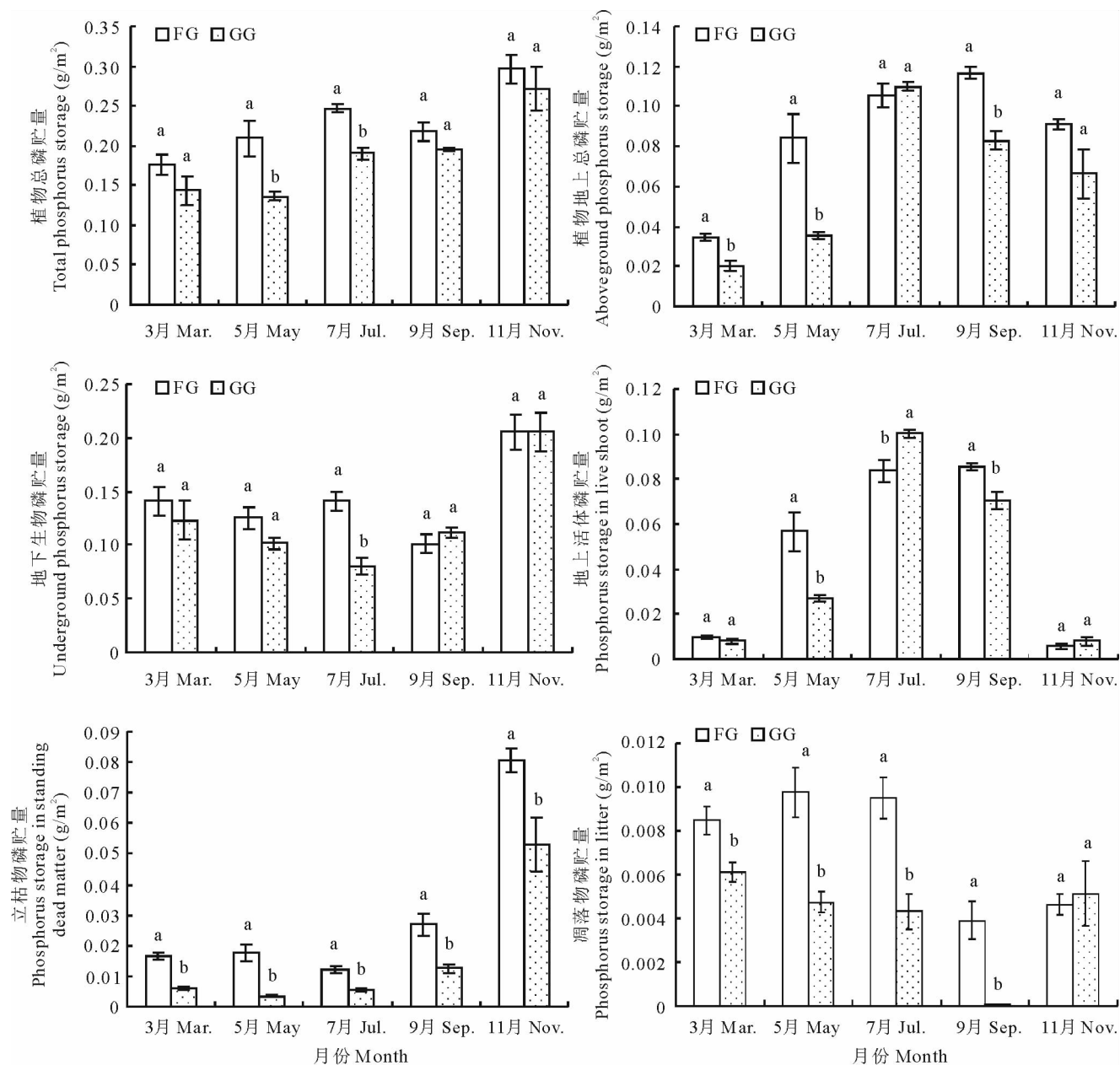


图4 放牧和围封草地植物磷贮量季节动态

Fig. 4 The seasonal dynamics of plant phosphorus storage in grazed and fenced grasslands

此基础上,通过群落植物生物量和碳、氮、磷贮量间相关分析得知,围封和放牧草地植物碳、氮、磷贮量均与生物量呈显著正相关关系($P < 0.01$),其相关系数分别为:0.990,0.899和0.936(FG);0.990,0.891和0.936(GG)。表明,封育和放牧草地植物间各部分碳、氮、磷贮量差异均由其各自生物量差异引起。

此外,虽然不同年龄阶段植物体碳含量相对稳定,但因植物各部分碳贮量与其生物量显著正相关,而使放牧草地各部分的碳贮量均小于围封样地。同时,因家畜采食不仅刺激牧草生长,还促进地上氮、磷向幼嫩器官重新分配,从而使放牧草地地上活体的生物量和氮、磷含量增加,并由此导致7月放牧草地地上活体的氮、磷贮量显著高于围封草地。这与仲延凯等^[27]对内蒙古典型草原,割草促使草地植物氮、磷等营养元素含量增加的结果类似。因此,放牧草地主要通过地上幼嫩器官生物量和植物氮、磷含量的增加来获得较大氮、磷贮量,并以此提高草地利用率。

参考文献:

- [1] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-2.
- [2] Smith M S. Global Change Impacts on Pastures and Rangelands (Implementation Plan)[M]. Canberra: GCTE Core Project Office, 1995.
- [3] 张培栋, 介小兵. 黄河上游甘肃段草地退化的现状及机理研究[J]. 草业科学, 2007, 24(9): 1-4.
- [4] 王启兰, 王长庭, 杜岩功, 等. 放牧对高寒嵩草草甸土壤微生物量碳的影响及其与土壤环境的关系[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 39-46.
- [5] 刘文辉, 周青平, 颜红波, 等. 青海扁茎早熟禾种群地上生物量积累动态[J]. 草业学报, 2009, 18(2): 18-24.
- [6] Zheng D, Rademacher J, Chen J, *et al.* Estimating above ground biomass using landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 9(3): 402-411.
- [7] Brown S L, Schroeder P, Kern J S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 123: 81-90.
- [8] Chameides W L, Perdue E M. Biogeochemical Cycles[M]. Oxford University Press, 1997.
- [9] 汪诗平, 王艳芬, 李永宏, 等. 不同放牧率对草原牧草再生性能和地上净初级生产力的影响[J]. 草地学报, 1998, 6(4): 275-281.
- [10] 陈灵芝. 英国 Hampsfell 的蕨菜草地生态系统的营养元素循环[J]. 植物学报, 1983, 25(1): 67-74.
- [11] 陈佐忠. 羊草草原和大针茅草原氮贮量及其分配[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983, 7(2): 143-151.
- [12] 任继周, 朱兴运, 王钦, 等. 高山草地-绵羊系统的氮循环[J]. 草业科学, 1986, 4: 4-8.
- [13] 张小川, 蔡蔚祺, 徐琪, 等. 草原生态系统土壤-植被组分中氮、磷、钾、钙和镁的循环[J]. 土壤学报, 1990, 27(2): 140-150.
- [14] 郭继勋, 仲伟彦. 羊草草原植物-土壤之间主要营养元素动态的研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(1): 17-22.
- [15] 陈亚明, 吴自立, 朱兴运, 等. 禾草-嵩草型高山草地的磷循环[J]. 草业学报, 1995, 4(2): 75-80.
- [16] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [17] 陈全功. 中国草原监测的现状与发展[J]. 草业科学, 2008, 25(2): 29-38.
- [18] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [19] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1997: 152-153.
- [20] 刘建军, 浦野忠朗, 鞠子茂, 等. 放牧对草原生态系统地下生产力及生物量的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(1): 88-93.
- [21] 仁青吉, 崔现亮, 赵彬彬. 放牧对高寒草甸植物群落结构及生产力的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 134-140.
- [22] 单贵莲, 徐柱, 宁发, 等. 围封年限对典型草原群落结构及物种多样性的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 1-8.
- [23] 张娜, 梁一民. 黄土丘陵区两类天然草地群落地下部生长及其与土壤水分关系的比较研究[J]. 西北植物学报, 1999, 19(4): 699-706.
- [24] 刘王锁, 谢应忠, 代红军, 等. 荒漠草原不同放牧强度下长芒草种群补偿性生长的研究[J]. 农业科学研究, 2008, 29(2): 50-53.
- [25] 马红彬, 谢应忠. 不同放牧方式下荒漠草原植物补偿性生长研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 211-215.
- [26] 李晶, 孙国荣, 阎秀峰. 星星草地上部 6 种元素含量季节动态及其分布[J]. 草地学报, 2001, 9(3): 213-217.
- [27] 仲延凯, 孙维, 孙卫国. 割草对典型草原植物营养元素贮量及分配的影响Ⅲ. 刈割对植物营养元素含量变化的影响[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(4): 69-73.

Effects on plant biomass and CNP contents of plants in grazed and fenced steppe grasslands of the Loess Plateau

DONG Xiao-yu, FU Hua, LI Xu-dong, NIU De-cao, GUO Ding, LI Xiao-dong

(Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The plant subsystem in typical steppe grassland of the Loess Plateau was divided into four components: live shoots, standing dead matter, litter, and underground roots. The plant biomass of these four components and their C, N, and P contents were studied in grazed (GG) and fenced (FG) grasslands. The seasonal dynamics of each component biomass was correlated with their C, N and P contents both in grazed and fenced grasslands. There were significant positive correlations between plant biomass and C, N, and P contents, with correlation coefficients of 0.990, 0.899, 0.936 (FG) and 0.990, 0.891, 0.936 (GG), respectively. The differences in C, N, and P contents of each plant component were caused by the difference in plant biomass. The total biomass, aboveground and underground biomass, standing dead matter and litter, and their C, N, and P contents were significantly ($P < 0.05$) higher in fenced grassland than those in grazed grassland. The N and P contents in live shoots were highest in July, and significantly ($P < 0.05$) lower in fenced (1.291 8 and 0.083 7 g/m² for N and P respectively) than in grazed (1.529 7 and 0.100 2 g/m² for N and P respectively) grassland. The results indicate that the higher plant N, P storages in grazed grassland were mainly attributed to the increases of young organ biomass and their N, P contents, which further improve the utilization of grassland.

Key words: typical steppe; grazing; plant biomass; C; N; P