

围栏封育对青海湖地区芨芨草草原生物量的影响

周国英^{1,2,3}, 陈桂琛¹, 徐文华¹, 杨路存^{1,2}, 韩友吉^{1,2}, 李锦萍^{1,2}

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 青海 西宁 810001)

摘要: 选择青海湖地区的芨芨草草原为研究对象,以围栏内封育和围栏外自由放牧的草地做比较,研究了围栏内外枯枝落叶量、地上生物量的季节动态变化和地下生物量的状况。结果表明:枯落物生物量的季节动态围栏内外均呈现高一低一高的变化趋势,且围栏内枯落物量大于围栏外。群落总地上生物量、禾草类、杂类草和豆类草生物量围栏内外均呈现明显单峰型生长曲线,围栏内地上总生物量和禾草类生物量均大于围栏外,杂类草和豆类草生物量则是围栏外大于围栏内。围栏内外群落的地下生物量垂直分布均呈典型的倒金字塔型,从地表向地下生物量的空间分布呈递减趋势。地下生物量主要集中分布在 0~10 cm,围栏内外分别达 1 408.778 g 和 940.934 g,占总地下生物量比例分别是 84.65% 和 77.12%;而在 10~20 cm 和 20~30 cm 两层无论是重量,还是所占的比例,都是围栏外大于围栏内。该地区降雨量和气温呈单峰的增长,且雨热同季,这也和植物的生长规律吻合,土壤含水量达到最高值的时间较降雨量和气温滞后。围栏外地上生物量的季节变化和月均气温、降雨量呈极显著正相关关系,围栏外月均地上生物量的累积量与土壤含水量呈显著负相关关系;地上生物量的月增长率与月均气温和降雨量呈显著正相关关系;围栏内地上生物量的增长率与月均气温呈极显著正相关关系,其他相关关系微弱。

关键词: 青海湖地区; 芨芨草草原; 生物量; 季节动态

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6060(2010)03-0434-08(434~441)

生物量研究是一项基础性工作,也是现代生态学中一个重要的研究领域^[1]。生物量指植物生长发育产生的物质总量,反映了植被层的生物生产力。是草地生态系统生物群落生产力水平的一个重要功能指标。它不仅是生态系统结构和功能的基础,也是群落结构和功能的主要测度指标之一。它体现了群落结构、环境以及人类活动等因素的综合作用结果,反映了群落的生长状况^[2]。它作为生态系统中重要的一部分,发挥作用的关键^[3]。国内外对生物量的研究已经相当广泛和深入,但对于青海湖地区芨芨草草原生物量的研究相对较少,也缺乏对芨芨草草原长期围栏封育的效益评价。

芨芨草草原是青海湖地区重要的草地类型,也是青海湖地区草业和畜牧业的优良草场和重要基地。芨芨草草原是青海湖地区温性草原的代表群落,也是重要景观生态类型之一。芨芨草草原不仅

为草地畜牧业的发展提供不可缺少的原料和立足之地,而且在抗风固沙、保持水土等维护自然环境的稳定性方面也起着重要作用,同时也是鸟类的重要栖息地^[4]。然而,由于地质历史演变、气候环境变化等自然原因,加之近几十年来大规模的生产开发以及人类经济活动的干扰和影响,尤其是人为开垦,过渡放牧等不合理利用,使原本脆弱的生态环境更加脆弱,芨芨草草原遭到严重破坏,面积急剧减少,草地生态环境恶化,导致土地生产力下降,物种多样性大量丧失。围栏封育因投资少,见效快^[5-6],而成为当前青海湖地区退化草场恢复的重要措施之一。围栏封育就是将退化草地用网围栏等围起来,消除或减轻牲畜压力,从而使退化草地得以自然恢复。它是人类有意识调节草原生态系统中草食动物与植物的关系以及管理草原的手段^[7]。长期人们注重围栏建设,而缺乏对围栏封育效果的效益评价。有鉴

收稿日期: 2009-10-02; 修订日期: 2009-12-17

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2007BAC30B04); 青海省重点科技攻关项目(2006-N-151)

作者简介: 周国英(1974-),男,青海乐都人,副研究员,在职博士生,主要从事草地生态学和恢复生态学方面的研究

E-mail: zhougy@nwipb.ac.cn

于此。本研究选择了青海湖地区围栏内封育和围栏外自由放牧的芨芨草原为研究对象,对围栏内外的枯枝落叶量、地上生物量和地下生物量进行了比较研究,为退化芨芨草原的植被恢复及重建提供理论依据。同时也将为青海湖自然保护区合理规划和生物多样性的有效管理提供基础资料。

1 研究区域概况

研究区域位于青海湖北岸,该地区南濒青海湖,北为大通山,地势由北向南倾斜,介于 $36^{\circ}15' \sim 38^{\circ}20' N$, $97^{\circ}50' \sim 101^{\circ}20' E$ 之间,海拔 $3\ 200 \sim 3\ 800$ m。该地区气候具有寒冷期长,太阳辐射强,气温日较差较大,干旱少雨,降水比较集中,雨热同季,且无明显四季之分,属高原大陆性气候。据刚察县气象观测资料分析,多年平均气温为 $-0.6^{\circ}C$,极端最高温 $25^{\circ}C$,极端最低温 $-31^{\circ}C$, $0^{\circ}C$ 的年积温为 $1\ 299^{\circ}C$,多年平均降水量 370.3 mm,年蒸发量 607.4 mm,干旱指数为 4.34 ,平均风力大于 8 级,最大冻土深度 2.88 m;土壤为栗钙土。

实验样地选择青海省三角城种羊场地区的典型芨芨草原,该地区芨芨草原于 20 世纪 80 年代初开始围栏封育,围栏内外形成鲜明的对比,其群落特征已有报道^[14]

2 研究方法

2.1 野外取样

调查样地选择植物生长均匀、微地形差异较小、面积较大的群落,在围栏内外分别取样。于 2003 年 5 月 30 日草场返青时开始测定地上生物量,每隔 15 天取样一次,到 10 月中旬草场枯黄时结束,共 10 次。地上生物量测定采用割草法^[8],取样面积为 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$,采取齐地面剪割,分枯落物和现存生物量 2 大类,现存生物量按照牲畜适口性和植物功能群不同将植物分为禾草类(牲畜喜食)包括芨芨草 (*A. splendens*)、裸花碱茅 (*Puccinellia nudiflora*)、短花针茅 (*Stipa breviflora*)、早熟禾 (*Poa pratensis*)、赖草 (*Leymus secalinus*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 等禾本科植物,杂类草(牲畜愿意采食)包括纤秆蒿 (*Artemisia gansuensis*)、白茎盐生草 (*Salicornia europaea*)、独行菜 (*Lepidium apetalum*)、短穗兔耳草 (*Lagotis brachystachya*)、草甸雪兔子 (*Saussurea*

thoroldii)、海乳草 (*Glauca maritima*)、中亚滨藜 (*Atriplex centralasiatica*)、三裂碱毛茛 (*Halerpestes tricuspis*)、阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、平车前 (*Plantago depressa*)、二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、鹅绒委陵菜 (*P. anserina*)、多裂委陵菜 (*P. multifida*)、西伯利亚蓼 (*Polygonum sibiricum*)、豆类草(牲畜不采食)包括冰川棘豆 (*Oxytropis glacialis*)、黄芪 (*Astragalus spp.*)、披针叶黄华 (*Themopsis lanceolata*) 等 3 类,5 次重复;将剪下地上生物量分别称取鲜重后,带回室内,在 $80^{\circ}C$ 的恒温箱内烘干至恒重。土壤水分的测定与地上生物量同步进行,在地上生物量的采集区用土钻采集 $0 \sim 15$ cm 土样,5 次重复,充分混匀后,取一定量土壤放入铝盒,称土壤湿质量,再将铝盒带回室内,在 $105^{\circ}C$ 下连续烘干称量,计算土壤含水量。地下生物量的测定于 8 月下旬进行,在 8 月下旬测定地上生物量的同时,在对应地上生物量的位置,按 50×50 cm 的样方面积,分层 ($0 \sim 10$ cm、 $10 \sim 20$ cm、 $20 \sim 30$ cm) 挖掘取样,5 次重复。按层用细筛筛去土,在用纱布包好根系,用清水洗净,并捡去石块和其它杂物,在 $80^{\circ}C$ 的恒温箱内烘干至恒重。

2.2 数据处理

利用数理统计法进行实验数据处理,主要借助 Excel 和 SPSS 统计软件包中的相关和回归分析等进行处理和分析。其它主要公式如下:

土壤含水率: $W = M_w \times 100 / (M_s + M_w)$ ^[9] (其中 M_w = 水的重量, M_s = 土的重量)。

生长速率 (G): $G = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$ (其中 W_1 为 T_1 时间测定的生物量, W_2 为 T_2 时间测定的生物量)

文中地上、地下生物量均由 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ 换算成 $1\text{m} \times 1\text{m}$,均以烘干重计。

3 结果与分析

3.1 芨芨草原生物量的季节动态

3.1.1 芨芨草原枯落物生物量的季节动态 芨芨草原围栏内外枯落物生物量随季节变化如图 1 所示,植物群落地上枯落物生物量的季节动态呈现高一低一高的变化趋势。由图 1 可知,在 5 月份草原返青期枯落物生物量最高,到 8 月植物生长最旺盛时期枯落物生物量最低,以后又逐渐增加,到 9 月底时枯落物生物量接近返青期。

对围栏内外枯落物生物量随季节变化进行回

归,结果表明围栏外枯落物生物量与生长时间呈极显著相关,回归方程为 $y_2 = 1.3904x^2 - 15.097x + 77.573$ ($R^2 = 0.6372$, $r > r(0.01, n = 10) = 0.7348$);围栏内枯落物生物量与生长时间呈显著相关,回归方程为 $y_1 = 1.8456x^2 - 21.885x + 156.3$, ($R^2 = 0.5253$, $r > r(0.05, n = 10) = 0.6021$),其中: x 为生长时间, y_1 和 y_2 为枯落物生物量。

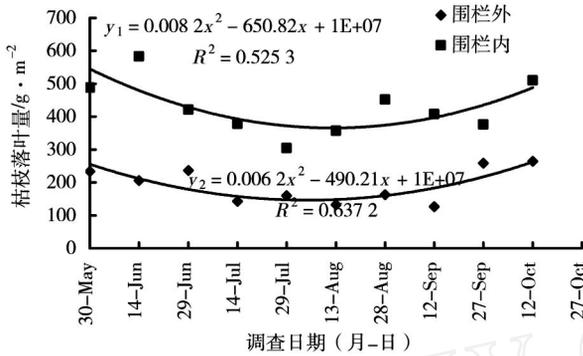


图 1 芨芨草草原围栏内外群落枯枝落叶量的季节动态
Fig 1 Seasonal dynamics of Litter production in and out fenced plot of *Achnathenm splendens* steppes

5月份枯落物生物量高是因为前一年秋冬季地上生物量枯黄而形成,在冬季由于气温低,降水少,被分解的很少;到春季气温回升,植物开始返青,就

很少形成枯枝落叶;另外随着气温升高,降水增加,微生物分解作用加强,枯落物生物量逐渐降低,生长旺季过后,枯落物生物量又逐渐增加。

从图 1 也可以看出围栏内枯落物的含量明显大于围栏外,以 8月下旬为例围栏内外枯落物生物量分别达到 452.192 g/m²和 163.208 g/m²。围栏内由于放牧是有节制、有计划的,而围栏外则是自由放牧地,长年受到放牧干扰,属于过牧草原,牲畜的啃食和践踏,导致围栏外的枯落物生物量小于围栏内。而土壤有机质主要源于凋落物和植物根系^[10],所以长期自由放牧,可能导致土壤有机质含量减少,最终导致围栏外的草地发生退化。

3.1.2 芨芨草原地上生物量的季节动态 围栏内的植物群落受到人为干扰较弱,所受的扰动也在生态系统的承受范围之内,相对是一个自组织自稳定的系统,对于自然界的影响具有较强的抗干扰能力。而围栏外的生态系统由于长期受到放牧的干扰,抗干扰的能力下降。因此,比较围栏内外草地的生物量季节动态对研究草地生态系统的自我恢复机制具有重要的意义。植物群落地上生物量的季节动态也表明了生长季中植物转化太阳能的能力^[12]。芨芨草原植物群落地上生物量变化如图 2 所示。

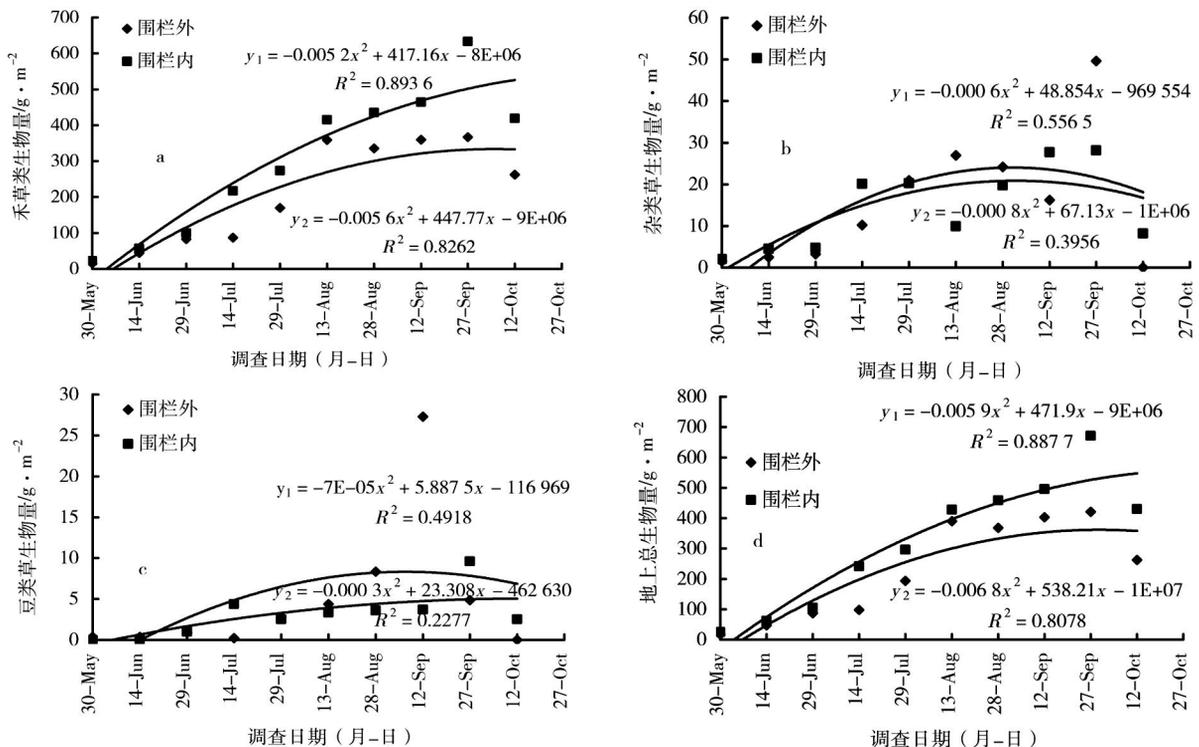


图 2 芨芨草草原围栏内外群落禾草类、杂类草、豆类草和地上总生物量的季节动态

Fig 2 Seasonal dynamics of the grasses, the forbs, the legumes and the total biomass of aboveground in and out fenced plot of *Achnathenm splendens* steppes

由图 2 可以看出,围栏内外无论是禾草类、杂类草、豆类草生物量,还是群落地上总生物量都随季节的变化而变化,呈现明显单峰型生长曲线。在返青期生物量较低,随着植物的生长发育生物量逐渐增加,到 8 月下旬达到最高值,随后进入枯黄期,生物量又逐渐下降。

对围栏内外禾草类、杂类草、豆类草、以及总生物量的季节动态进行拟合的结果表明:

图 2 - a 中禾草类围栏外的拟合方程为:

$$y_1 = -1.268x^2 + 24.248x - 32.492, R^2 = 0.8262$$

围栏内:

$$y_2 = -1.1802x^2 + 28.471x - 35.211, R^2 = 0.8936$$

其中: x 为生长时间, y_1 和 y_2 为禾草类生物量。

图 2 - b 中杂类草围栏外的拟合方程为:

$$y_1 = -0.1903x^2 + 2.7437x - 3.8828, R^2 = 0.3956$$

围栏内:

$$y_2 = -0.1385x^2 + 2.0159x - 2.1203, R^2 = 0.5565$$

其中: x 为生长时间, y_1 和 y_2 为杂类草生物量。

图 2 - c 中豆类草围栏外的拟合方程为:

$$y_1 = -0.0661x^2 + 1.0081x - 1.7634, R^2 = 0.2277$$

围栏内:

$$y_2 = -0.0167x^2 + 0.3376x - 0.4456, R^2 = 0.4918$$

其中: x 为生长时间, y_1 和 y_2 为豆类草生物量。

图 2 - d 中地上总生物量围栏外的拟合方程为:

$$y_1 = -1.5244x^2 + 28x - 38.139, R^2 = 0.8078$$

围栏内:

$$y_2 = -1.3354x^2 + 30.824x - 37.777, R^2 = 0.8877$$

其中: x 为生长时间, y_1 和 y_2 为总生物量。

除围栏外的豆类草生物量拟合效果较差外,其余均达到显著水平。而且围栏内的拟合效果均好于围栏外。从图中也可以看出,围栏内外地上生物量达峰值的时间略有差别,个别地方曲线有所波动。可能由于受放牧的影响或由于取样是随机的,而受到该区域有较多的狼毒等双子叶杂类草的影响。但所有曲线总体都呈单峰型。

地上生物量的变化也与植物的物候以及气候变化紧密相关^[11],从 5 月上旬草原开始返青,植物从休眠期进入营养期,由于植物刚开始萌发时,早春气温低而波动较大,植物经常受到低温的影响,生长较为缓慢,所以地上生物量最低;随着植物生长发育先

后进入花蕾期、开花期和结果期,此时由于气温逐渐升高、降水量逐渐增多、生长速度加快、光合作用加强、物质积累迅速,生物量也随着不断增大,随后达到峰值。植物在结果后,气候逐渐转冷,便进入果后营养期和枯萎期,地上有机质向地下转移,为翌年的萌发做好准备,地上生物量随之逐渐下降。

3.1.3 芨芨草原地上生物量增长速率 在整个生长季节内,返青期由于低温的影响,生长速率较低,随着气温和降水的增加,生长速率逐渐增高,由图 3 可以看出,围栏内外生物量的增长速率均在到 8 月中旬达到峰值,围栏外为 $1.64 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,围栏内 $1.10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。此后随植物生长节律的进程的变化逐渐下降,到 9 月下旬部分地段开始出现负值。和该地区的高寒草原相比^[13],增长速率达到峰值和出现负值的时间均相对滞后。

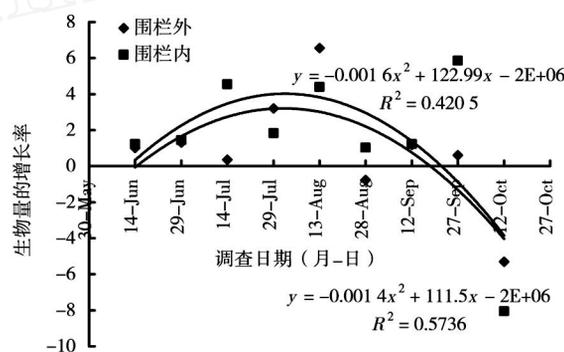


图 3 芨芨草原围栏内外群落生物量增长率动态

Fig 3 Seasonal dynamics of absolute growth rate of aboveground biomass in and out fenced plot of *Achnatherum splendens* steppes

3.2 芨芨草原群落生物量及其组成

3.2.1 芨芨草原群落地上生物量及其组成 选择 8 月下旬地上生物量达到峰值的时期,比较围栏内外地上生物量中的各类植物组成。围栏内外地上生物量的比较见表 1。

表 1 芨芨草原围栏内外各类植物组成的地上生物量及其比例 / $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$

Tab 1 Aboveground biomass and the biomass rate of different types plant composition at in and out fenced plot of *Achnatherum splendens* steppes / $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$

植物组成	围栏外	%	围栏内	%
禾草类	335.14	91.17	435.67	94.91
杂类草	24.14	6.57	19.76	4.31
豆类草	8.34	2.27	3.60	0.78
总生物量	367.62	100	459.03	100

从上表可以看出,禾草类:围栏内 > 围栏外,杂类草:围栏内 < 围栏外,豆类草:围栏内 < 围栏外,地上总生物量:围栏内 > 围栏外。由于芨芨草草丛浓密,冠幅宽大,根系发达,植株高大在群落中占优势,故围栏内外禾草类在总生物量中所占比例均超过 85%,围栏内禾草类所占比例为 94.91%,其干重为 435.67 g/m²,而围栏外禾草类所占比例为 91.17%,其干重为 335.14 g/m²。随干扰的增加禾草类的含量减少,其所占比例下降。说明在围栏封育条件下所受放牧干扰较小,将有利于优良牧草比例的增加。围栏外处于自由放牧区由于不断受到放牧的干扰,禾草植物的生长受到明显的抑制,优良牧草的比例较低。杂类草和豆类草的生物量的比例围栏外则明显增高。该地区豆科植物多为有毒的劣质牧草,围栏外因为家畜不喜食而避免伤害,种群数量增加。

3.2.2 芨芨草原群落地下生物量 地下生物量是草原生态系统生产力的重要组成部分。研究群落地下生物量的分布规律对了解草原生态系统的物质循环过程有十分重要的意义。

表 2 芨芨草原围栏内外不同层的地下生物量比较 /g · (1 m × 1 m × 0.1 m)⁻¹

Tab 4 Different layer underground biomass out and in fenced plot of *Achnatherum splendens* steppes /g · (1 m × 1 m × 0.1 m)⁻¹

层次	围栏外	%	围栏内	%
0 ~ 10 cm	940.93	77.12	1408.78	84.65
10 ~ 20 cm	10.62	17.26	191.25	11.49
20 ~ 30 cm	68.51	5.62	64.30	3.86
合计	1220.07	100	1664.33	100

地上生物量达到峰值时,围栏内外芨芨草原地下生物量的空间分布规律如表 2 所示。可以看出,围栏内外群落的地下生物量垂直分布均呈典型的倒金字塔型。从地表到地下地下生物量的空间分布呈递减趋势,主要集中在 0 ~ 10 cm,且围栏内的地下生物量大于围栏外。围栏外 0 ~ 10 cm 的地下生物量达 940.93 g,占总地下生物量的 77.12%;围栏内 0 ~ 10 cm 的地下生物量达 1408.78 g,占总地下生物量的 84.65%。而在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 的层次无论是绝对重量,还是所占的比例,都是围栏外的地下生物量大于围栏内。地下生物量的总和也是围栏内大于围栏外。和群落地下生物量相

比,围栏内对应的地上生物量为 459.03 g/m²,围栏外对应的地上生物量为 367.62 g/m²,地上生物量远小于相对应的地下生物量,围栏外的地下生物量是地上生物量的 2.56 倍,围栏内地下生物量是地上生物量的 3.07 倍。围栏内外的地下生物量的差异与围栏作用密切相关。围栏的存在对群落地上部分和表层土壤形成了保护,地上部分受牛羊啃食的几率减小,从而围栏内植物进行光合作用的面积大于围栏外,围栏内由于受牛羊干扰较少,表层土壤的结构较围栏外疏松,造成表层土壤中根系分布较多。围栏外由于牛羊的频繁践踏,导致表层土壤结构紧密,致使根系向更深层次分布和发展。

3.3 温度、降水和土壤含水量对芨芨草原地上生物量的影响

地上生物量的变化,主要取决于环境条件如温度和水分的变化及建群种植物对环境的适应性。而环境条件的变化又是通过植物本身的生长发育反映出来。该地区当年月均气温、月均降雨量和围栏内外土壤含水量如表 3 所示,表明该地区降雨量和气温呈单峰的增长,且雨热同季,这也和植物的生长规律吻合,土壤含水量达到最高值的时间较为滞后。

表 3 当年月均气温、月均降雨量和围栏内外土壤含水量

Tab 3 Monthly mean temperature, monthly mean precipitation and containing water rate of soil of out and in fenced plot of *Achnatherum splendens* steppes

	5月	6月	7月	8月	9月	10月
月均气温 /	5.2	8.1	10.8	10.2	5.7	0.3
月均降雨量 /mm	40.8	70.6	89	84.2	58.1	16.4
围栏外土壤含水量 /%	20.3	23.5	19.7	17.0	16.0	16.0
围栏内土壤含水量 /%	21.5	24.9	21.9	21.0	18.5	18.0

地上生物量的季节变化到底和土壤含水量、当年月均气温以及月均降雨量呈怎样的关系,为此进行了它们之间的相关分析。结果如表 4 和表 5 所示。

对围栏外地上生物量的月际动态变化和地上生物量的增长率与土壤含水量的季节动态、当年月均气温和降雨量进行相关分析表明(表 4),月均气温和降雨量呈极显著相关关系,可见该地区的气候具有雨热同季的特点。围栏外月均地上生物量的累积量与土壤含水量呈显著负相关关系;地上生物量的月增长率与月均气温和降雨量呈显著正相关关系;

围栏外群落的生物量同时受到土壤水分,气温和降雨量的影响。

表 4 围栏外地上生物量的变化及其月均增长速率与土壤含水量、当年月均气温和月均降雨量的相关分析

Tah 4 Correlations of aboveground biomass seasonal dynamic and rate of aboveground biomass increase with containing water rate of soil of out fenced plot, monthly mean temperature and monthly mean precipitation out fenced plot of *Achnatherum splendens* steppes

	月均地上生物量	月均增长率	土壤含水量	月均气温	月均降雨量
月均地上生物量	1				
月增长率	0.217	1			
土壤含水量	-0.839*	0.137	1		
月均气温	0.050	0.911*	0.328	1	
月均降雨量	-0.047	0.840*	0.514	0.927**	1

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

表 5 围栏内地上生物量的季节动态变化及其月均增长速率与土壤含水量、当年月均气温和月均降雨量的相关分析

Tah 5 Correlations of aboveground biomass seasonal dynamic and rate of aboveground biomass increase with containing water rate of soil of in fenced plot, monthly mean temperature and monthly mean precipitation in fenced plot of *Achnatherum splendens* steppes

	月均地上生物量	月增长率	土壤含水量	月均气温	月均降雨量
月均地上生物量	1				
月增长率	0.122	1			
土壤含水量	-0.767	0.334	1		
月均气温	-0.070	0.947**	0.565	1	
月均降雨量	-0.185	0.786	0.745	0.927**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

对围栏内地上生物量的月际动态变化和地上生物量的增长率与土壤含水量的季节动态、当年月均气温和降雨量进行相关分析表明(表 5),围栏内地上生物量的增长率与月均气温呈极显著正相关关系,其他相关关系微弱。

4 结 论

(1) 芨芨草原由于芨芨草植丛浓密,冠幅宽大,根系发达,在群落中占优势,故禾草类在总生物

量中所占比例超过 85%。枯落物量围栏内 > 围栏外,地上总生物量和禾草类围栏内 > 围栏外,杂类草和豆类草均为围栏内 < 围栏外。围栏封育有利于提高牧草的地上生物量,也有利于禾本科和莎草科植物的增加。围栏外属于自由放牧区域,常年受到放牧干扰,禾草和莎草类优良牧草的生长受到抑制,杂类草和豆类草由于适口性相对较差,家畜不喜食而避免伤害,种群数量增加,从而导致围栏外杂类草和豆类草生物量的比例增高。

(2) 围栏内外植物群落地上枯落物生物量的季节动态均呈现高一低一高的变化趋势。枯落物的含量围栏内明显大于围栏外,这与放牧的策略有关,围栏内属于封育地段,放牧是有节制、有计划的,所受的干扰有限;而围栏外则是自由放牧地,常年受到放牧干扰,属于过牧草原,由于牛羊啃食和践踏,导致地上生物量减少,也导致枯落物的蓄存较少。枯落物生物量在生长季开始较高与前一年秋冬季地上生物量的枯黄凋落有关,这些凋落物在冬季由于气温低,降水少,被分解的很少;到春季气温回升,很少形成枯枝落叶;另外随着气温升高,降水增加,微生物分解作用加强,枯落物生物量逐渐降低;生长旺季过后,随着植株地上部分的枯黄,枯落物生物量又逐渐增加。

(3) 围栏内外无论是群落总生物量,还是禾草类、杂类草、豆类草生物量均呈现明显单峰型生长曲线。对这些曲线进行拟合的结果表明除围栏外的豆类草生物量拟合效果较差外,其余均达到显著水平。而且围栏内的拟合效果均好于围栏外。在返青期生物量较低,随着植物的生长发育生物量逐渐增加,到 8 月下旬达到最高值,随后进入枯黄期,生物量又逐渐下降。

(4) 围栏内外群落的地下生物量均呈典型的倒金字塔型。从地表到地下地下生物量的空间分布呈递减趋势,主要集中在 0~10 cm,围栏外和围栏内 0~10 cm 的地下生物量分别达 940.93 g 和 1408.78 g,占总地下生物量比例分别是 77.12% 和 84.65%;而在 10~20 cm 和 20~30 cm 的层次无论是绝对重量,还是所占的比例,都是围栏外的地下生物量大于围栏内。围栏内外的地下生物量的差异与围栏作用密切相关。围栏的存在对群落地上部分和表层土壤形成了保护,地上部分受牛羊啃食的几率减小,从而围栏内植物进行光合作用的面积大于围

栏外,围栏内由于受牛羊干扰较少,表层土壤的结构较围栏外疏松,造成表层土壤中根系分布较多。围栏外由于牛羊的频繁践踏,导致表层土壤结构紧密,致使根系向更深层次分布。

参考文献 (References)

- [1] 魏晶,吴钢,邓红兵. 长白山高山冻原植被生物量的分布规律 [J] 应用生态学报, 2004, 15(11): 1999 - 2004. [Wei Jing, Wu Gang, Deng Hongbing, Vegetation biomass distribution characteristics of alpine tundra ecosystem in Changbai Mountains [J] Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(11): 1999 - 2004.]
- [2] 徐振邦,李昕,戴洪才. 长白山阔叶红松林生物生产力研究 [C]//王战. 森林生态系统研究. 北京:林业出版社, 1985: 33 - 48. [Xu Zhenbang, Li Xin, Dai Hongcai Research on biological productivity of Korean pine broadleaf forest in Changbai Mountain [C]//Wang Zhan. Forest ecosystem research Beijing: China Forestry Press, 1985: 33 - 48.]
- [3] 叶吉,郝占庆,戴冠华. 长白山暗针叶林苔藓植物生物量的研究 [J] 应用生态学报, 2004, 15(5): 737 - 740. [Ye Ji, Hao Zhanqing, Dai Guanghua Bryophyte biomass in dark coniferous forest of Changbai Mountains [J] Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 737 - 740.]
- [4] 李迪强,蒋志刚,王祖望. 青海湖地区生物多样性的空间特征与 GAP分析 [J] 自然资源学报, 1999, 14(1): 47 - 53. [Li Diqiang, Jiang Zhigang, Wang Zuwang The spacial characteristics and GAP analyses about the biodiversity in the area of Qinghai Lake [J] Journal of Natural Resources, 1999, 14(1): 47 - 53.]
- [5] 周兴民,张松林. 矮篙草甸在封育条件下群落结构和生物量变化的初步观察 [J] 高原生物学集刊, 1986, (5): 1 - 6. [Zhou Xinmin, Zhang Songlin Change state of community structure and biomass in fenced area of *Kobresia humilis* meadows [J] Acta Biologica Plateau Sinica, 1986, (5): 1 - 6.]
- [6] 王启基,周兴民,沈振西,等. 不同调控策略下退化草地恢复与重建的效益分析 [C]//高寒草甸生态系统,第4集. 北京:科学出版社, 1995: 343 - 352. [Wang Qiji, Zhou Xinmin, Shen Zhenxi, Benefit analysis of reformed degeneration Grassland by different control measure [C]//Alpine Meadow Ecosystem, 4. Beijing: Science press, 1995: 343 - 352.]
- [7] 周华坤,周立,刘伟,等. 封育措施对退化与未退化矮篙草甸的影响 [J] 中国草地, 2003, 25(5): 15 - 22. [Zhou Huakun, Zhou Li, Liu Wei The influence of fencing on degraded *Kobresia humilis* meadows and non-degraded [J] Grassland of China, 2003, 25(5): 15 - 22.]
- [8] 木村允 著,姜恕,陈乃全,等译. 陆上植物群落的生产量测定法 [M] 北京:科学出版社, 1981: 5 - 8. [Mucun Y. Translated by Jiang S, Chen N Q, et al The measuring methods for biomass and productivity of land vegetation [M] Beijing: Science Press, 1981. 5 - 8.]
- [9] Ove Emteryd(同延安译). 植株、土壤、水和空气中无机营养素的物理化学分析 [M]. 陕西科学技术出版社, 1991: 13 - 14. [Ove Emteryd Translated by Tong Y A et al Chemical and physical analysis of inorganic nutrients in plant, soil, water and air [M] Xing'an: Shaanxi Science and & Technology Press, 1991: 13 - 14.]
- [10] 张全发,郑重,金义兴. 植物群落演替与土壤发展之间的关系 [J] 武汉植物学研究, 1990, 8(4): 325 - 334. [Zhang Quanfa, Zheng Zhong, Quan Yixing, The relationship between the plant communities succession and the soil development [J] Journal of Wuhan Botanical Research, 1990, 8(4): 325 - 334.]
- [11] 史顺海,杨福国,陆国泉. 矮篙草甸主要植物种群物候观测和生物量测定 [C]//高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集. 北京:科学出版社, 1988: 49 - 60. [Shi Shunhai, Yang Futun, Lu Guoquan A preliminary study on both phenological observation and biomass of aboveground of main population in *Kobresia humilis* meadow [C]//The Proceeding of the International Symposium of Alpine Meadow Ecosystem. Beijing: Science Press, 1988: 49 - 60.]
- [12] 于永强,宇万太,张璐. 海伦摆荒地植物生物量的季节变化 [J] 应用生态学报, 2002, 13(6): 685 - 688. [Yu Yongqiang, Yu Wantai, Zhang Lu Seasonal fluctuation of plant biomass in land remained bare in Hailun experimental station [J] Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 685 - 688.]
- [13] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究: 地上生物量季节动态 [J] 草业科学. 2005, 22(1): 59 - 63. [Zhou Guoying, Chen Guochen, Zhao Yilian, Comparative Research on the influence of chemical fertilizer application and enclosure at alpine steppes in Qinghai Lake Area: seasonal and annual biomass dynamics [J] Pratacul Tural Science, 2005, 22(1): 59 - 63.]
- [14] 周国英,陈桂琛,韩友吉,等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草原群落特征的影响 [J] 中国草地学报, 2007, 29(1): 19 - 23. [Zhou Guoying, Chen Guichen, Han Youji, Influences of enclosure on *Achnatherum splendens* steppes community characteristics in the Qinghai Lake area, Chinese Journal of Grassland, 2007, 29(1): 19 - 23.]

Influences of enclosure to *Achnatherum splendens* steppes biomass in the Qinghai Lake Area

ZHOU Guo-ying^{1,2,3}, CHEN Gui-chen¹, XU Wen-hua¹, YANG Lu-cun^{1,2},
HAN You-ji^{1,2}, LI Jin-ping^{1,2}

(1 Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining 810008, Qinghai, China; 2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 The Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, CAS, Xining 810008, Qinghai, China)

Abstract: The Sheep Breeding Pasture Land in City Sanjiao of Qinghai Province is located on the north bank of Qinghai Lake, we choose the *Achnatherum splendens* steppe of abandoned field as our object, and research in the content of litter, overground biomass and underground biomass, comparing within and out of the fence. The result is as follows: the content of litter, total overground biomass and grasses within the fence is higher than out, while overground biomass of forbs and legume out of the fence is higher than within. The seasonal dynamic tendencies of litter within and out are both high-low-high. The seasonal dynamic growth curves of total overground, grasses and sedges, forbs and legume are all of similar form, which is single apex. The form of underground biomass is a typical reversed pyramid, spatial distribution descending from surface to subterranean. The underground content is mainly in 0 - 10 cm, and the underground biomass inside enclosure and outside are 940.934 g and 1408.778 g, occupying 77.12% and 84.65% of each total underground biomass. The underground biomass inside is also higher than that of the outside. In 11 - 20 cm and 21 - 30 cm, underground biomass outside are higher than inside in both weight and percentage. In this region rainfall comes together with the high temperature, and growth curve of monthly mean temperature and monthly mean rainfall is a single apex, which anastomose the discipline of plant and as a result, the crest value of soil moisture is after monthly mean temperature and monthly mean rainfall. The seasonal dynamic of aboveground biomass out of fence has a very significant correlation with monthly mean temperature and monthly mean rainfall. Meanwhile, there is a remarkable negative correlation between seasonal dynamics of aboveground biomass out of fence and the soil moisture. At the same time, there is a closely correlation between the increasing rate of aboveground biomass out of fence and monthly mean temperature and monthly mean rainfall. The increasing rate of aboveground biomass within fence has a strong correlation with monthly mean temperature, but weak with others.

Key Words: Qinghai Lake Area; *Achnatherum splendens* steppes; biomass; seasonal dynamics