

围封与放牧对青藏高原草地生物量 与功能群结构的影响

苏淑兰¹, 李 洋¹, 王立亚², 郭 丁¹, 康海军², 李旭东¹, 傅 华^{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, 兰州 730020; 2 青海省草原工作站, 西宁 810008)

摘 要:以青藏高原高寒草甸、高寒草原、温性荒漠草原的退化草地为基础, 比较了 5 年围封样地与放牧样地的生物量和群落结构。结果表明: (1) 围封后 3 类草地上总生物量较放牧样地分别显著增加了 48.1%、10.8%、34.5%; 地下生物量对围封的响应与地上总生物量一致, 且围封后高寒草原 0~10 cm 土层根系生物量比例较放牧地显著下降。 (2) 围封显著降低了高寒草甸的根冠比, 高寒草原和温性荒漠草原无显著变化。 (3) 与放牧地相比, 围封显著增加了高寒草甸和高寒草原禾本科植物的生物量比例, 高寒草甸杂类草显著降低, 温性荒漠草原功能群生物量比例无显著差异。

关键词:围封; 青藏高原; 生物量; 功能群; 根冠比

中图分类号: Q948.12⁺3

文献标志码: A

Effect of Fencing on Plant Biomass and Functional Group Structure of Different Types of Degraded Grassland in Qinghai-Tibet Plateau

SU Shulan¹, LI Yang¹, WANG Liya², GUO Ding¹, KANG Haijun², LI Xudong¹, FU Hua^{1*}

(1 College of Pastoral Agriculture Science and Technology, State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 2 Grassland Service Station of Qinghai, Xining 810008, China)

Abstract: Based on three types of degraded grassland: alpine meadow, alpine steppe and temperate desert-steppe in Qinghai-Tibet plateau, we analyzed the effect of fencing and grazing on different types of degraded grassland communities. The research results indicate that: (1) The aboveground biomass of three types of grassland increased by 48.1%, 10.8% and 34.5%, respectively after five years of fencing. The responding of underground biomass of three types of grassland were consistent with the aboveground biomass. (2) The proportion of upper-layer (0–10 cm) root biomass of alpine steppe and the root-shoot ratio of alpine meadow indicating a ‘clear declining trend’ while compared with the grazing land. (3) The gramineous plants, which occurred in a higher proportion in the total biomass in fencing grassland than it of grazing on alpine steppe and alpine meadow. Nevertheless, the proportion of troublesome weed in alpine steppe declined significantly and had no significant effects in temperate desert-steppe.

Key words: fencing; Qinghai-Tibet plateau; plant biomass; functional group; root-shoot ratio

放牧是草地利用的最主要方式^[1], 同时, 也是人类施加于草地的最主要干扰类型^[2]。许多研究表

明, 放牧对草地群落结构和生物量有重要的影响^[3-4], 长期不合理的放牧会导致草地生产力下降、

收稿日期: 2014-03-31; 修改稿收到日期: 2014-06-30

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203041); 青海省环保厅科技项目资助

作者简介: 苏淑兰(1989—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事草地生态化学研究。E-mail: sushl08@lzu.edu.cn

* 通信作者: 傅 华, 教授, 博士生导师, 主要从事草地生态学与草地生态化学研究。E-mail: fuhua@lzu.edu.cn

盖度降低,草地群落组分发生变化,毒草比例增加,土壤肥力下降,草地水源涵养能力降低,水土流失加剧^[1-2,5]。据研究,全世界退化草地中约有 35%是由于过度放牧所引起的^[6]。

青藏高原素有“中华水塔”和“世界第三极”之称,由于其独特的地理位置、丰富的自然资源以及重要的生态价值,已成为中国气候的启动区和调节区,是中国重要的生态屏障^[7-8]。青藏高原草地生态系统是中国海拔最高、面积最大的生态系统,其不仅为中国畜牧业的发展提供了良好的物质基础^[9],也是许多土著生物和抗逆性物种种质资源库,更为江河源区水源涵养和水土保持等发挥着重要作用。但是,由于过度放牧、工程建设、全球气候变暖等原因,该区草地出现大面积退化及沙化^[5],退化草地面积已达 $4.25 \times 10^7 \text{ hm}^2$,占该区可利用草地面积的 33%,其中,退化严重的“黑土型”约为 $7.03 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占全区退化草地的 16%~54%,严重影响了当地的畜牧业发展和环境安全^[5,10]。因此,在该区进行退化草地的恢复和治理,对保护青藏高原生态安全、增加草地涵养水源的功能、提高牧草产量、促进当地畜牧业发展具有重要意义。

围封作为最经济可行的退化草地恢复措施已得到广泛应用^[9],其对退化草地的恢复效果也已被广泛接受^[3,11],草地围封可显著降低毒杂草比例^[12],提高草地生产力^[13]。目前,有关围封对植物功能群结构影响的研究报道较少,此外,国内有关围栏与放牧对草地生产力及植物功能群的研究主要集中于单一草地类型^[14]。本研究以青藏高原退化高寒草甸、高寒草原和温性荒漠草原为研究对象,通过野外调查取样的方法,研究了围封和放牧对其生物量、生物量分配以及功能群结构的影响,揭示了不同类型退化草地的生物量、生物量分配及功能群结构对围封

的响应规律,旨在为青藏高原不同类型退化草地的改良恢复,牧区畜牧业的可持续发展提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况与样地设置

本研究选取了青藏高原具有代表性的高寒草甸、高寒草原和温性荒漠草原 3 种不同类型的退化草地,它们分别位于青海称多县、唐古拉山镇及兴海县。于 2008 年 5 月进行围封,围栏外样地为自由放牧地,样地基本情况见表 1。

1.2 植物地上和地下生物量的测定

2012 年 7 月下旬,分别在各样地内随机设置 5 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方,共计 30 个样方。将样方内的植物以不同功能群(禾本科、豆科、莎草科、杂类草)为划分依据齐地面剪下,分别装入信封袋,用直径为 9.6 cm 的根钻在已剪植被样方内随机取 0~10~20~30 cm 的土柱,以测定地下生物量。将带根的土柱置于 0.5 mm 孔径筛子中先捡去砾石等其它杂物,用清水将泥土冲洗干净。然后与地上生物量一起置于 65℃烘箱烘干至恒重,称重,计算生物量。

1.3 数据处理

采用 Excel 制图,SPSS 19.0 进行数据统计分析,独立样本 *t* 检验用于围封和放牧措施下各指标间的比较及差异显著性分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 围封对不同类型草地生物量的影响

2.1.1 地上和地下生物量 由图 1 可知,与放牧地相比,围封高寒草甸、高寒草原和温性荒漠草原草地植被地上总生物量分别显著增加了 48.1%、10.8%、34.5%($P<0.05$)。植物不同功能群的比较表明,草地围封 5 年后,高寒草甸、高寒草原和温性荒漠草

表 1 样地基本情况

Table 1 The basic conditions of three sample area

样地属性 Sample property	高寒草甸 Alpine meadow	高寒草原 Alpine steppe	温性荒漠草原 Temperate desert-steppe
优势种 Dominant species	高山嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>
海拔 Altitude/m	4 288	4 585	3 260
经度 Longitude	97°20′46.3″	92°39′56.4″	100°04′33.4″
纬度 Latitude	33°24′21.3″	34°22′17.7″	35°28′0.0″
年均温 Annual temperature/℃	−1	−2.9	1.4
最高温 Maximum temperature/℃	21	24.7	30.2
最低温 Minimum temperature/℃	−27.9	−33.8	−31.5
年均降水量 Annual mean precipitation/mm	374.2~721.2	382.8	353.2
年均蒸发量 Annual mean evaporation/mm	1 430~1 615	1 170.8~1 660.8	1 300

原禾本科植物生物量分别增加了 566.3%、48.3% 和 40.6% ($P < 0.05$); 莎草科生物量仅高寒草甸显著增加, 增幅为 226.6% ($P < 0.05$); 杂草类生物量仅高寒草原显著降低, 降低了 13.5% ($P < 0.05$); 围封对豆科植物生物量无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 2 显示, 围封后, 高寒草甸、高寒草原和温性荒漠草原地下总生物量较放牧样地分别显著增加了 24.8%、20.0% 和 30.7% ($P < 0.05$)。0~10 cm 土层, 高寒草甸、高寒草原和温性荒漠草原地下生物量较放牧地均显著增加, 增幅分别为 21.5%、4.8% 和 23.6% ($P < 0.05$); 10~20 cm 土层, 高寒草甸和高寒草原均显著性增加, 分别增加了 26.3% 和 38.2% ($P < 0.05$), 而温性荒漠草原增加不显著 ($P > 0.05$); 20~30 cm 土层, 3 类草地均有所增加, 但差异均不显著 ($P > 0.05$)。

围封对草地地下生物量分布的比例也具有一定的影响。与自由放牧地相比, 围封后, 高寒草原 0~10 cm 土层地下生物量占地下总生物量的比例显著降低了 12.7% ($P < 0.05$), 高寒草甸和温性荒漠草原虽有降低, 但差异不显著 ($P > 0.05$) (表 2)。

表 2 表明, 围封 5 年后, 高寒草甸生物量根冠比较自由放牧地显著降低了 17.8% ($P < 0.05$), 高寒草原和温性荒漠草原无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.1.2 总生物量 围封对不同类型草地总生物量的影响与地上生物量及地下生物量相一致。

由图 2 可以看出, 与自由放牧地相比, 围封样地高寒草甸、高寒草原和温性荒漠草原总生物量均显著增加, 分别增加了 25.1%、19.7% 和 30.8% ($P < 0.05$)。

2.2 围封对不同草地功能群结构的影响

由图 3 可知, 封育 5 年后, 高寒草甸和高寒草原

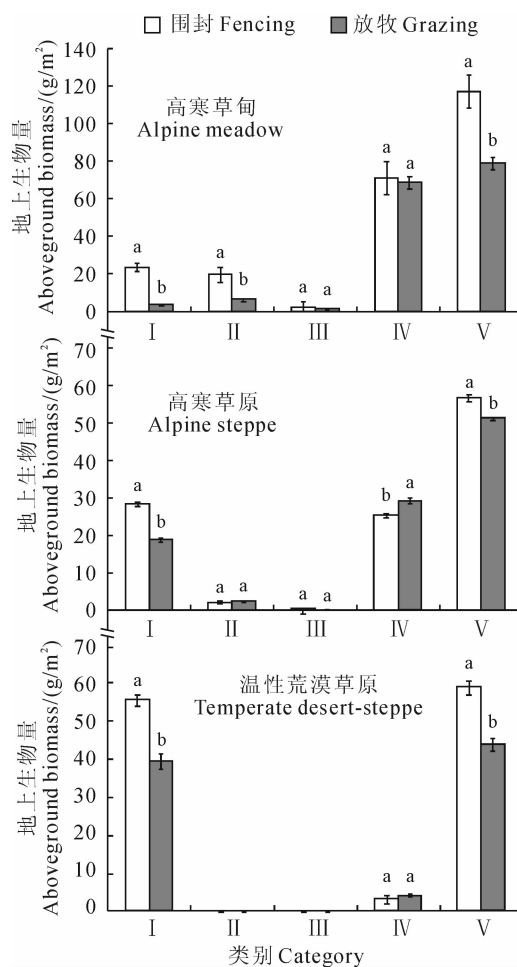


图 1 围封和放牧对不同类型退化草地地上生物量的影响
不同小写字母表示各指标不同处理间存在显著性差异 ($P < 0.05$);

I. 禾本科; II. 莎草科; III. 豆科; IV. 杂草类; V. 总生物量; 下同

Fig. 1 The response of aboveground biomass for degraded grassland under fencing or grazing conditions

Different normal letters mean significant difference at 0.05 level under different treatments; I. Gramineae; II. Sedge; III. Fabaceae; IV. Forbs; V. Total; The same as below

表 2 围封和放牧对不同类型退化草地地下生物量的影响

Table 2 The responses of belowground biomass for degraded grassland under fencing and grazing conditions

草地类型 Grassland type	处理 Treatment	地下生物量 Belowground biomass/(g/m ²)				根冠比 Root-shoot ratio	表层生物量比例 The surface biomass of the total/%
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~30 cm		
高寒草甸 Alpine meadow	围封 Fencing	4 345.0±60.7a	1 462.3±41.9a	471.1±72.6a	6 278.4±78.7a	54.0±3.7b	69.2±1.4a
	放牧 Grazing	3 575.2±160.3b	1 158.3±27.3b	299.3±49.8a	5 032.6±144.0b	65.7±0.2a	71.0±1.2a
高寒草原 Alpine steppe	围封 Fencing	840.7±9.4a	784.2±35.6a	348.4±32.2a	1 973.3±50.0a	34.7±1.3a	42.7±1.6b
	放牧 Grazing	802.3±4.3b	567.5±35.3b	274.8±21.4a	1 644.6±48.3b	32.0±1.2a	48.9±1.2a
温性荒漠草 Temperate desert-steppe	围封 Fencing	979.6±9.8a	333.7±78.9a	260.1±86.8a	1 613.0±87.6a	27.3±2.1a	61.0±2.8a
	放牧 Grazing	792.5±32.7b	240.5±57.9a	201.2±21.4a	1 234.1±39.6b	28.0±0.9a	64.4±3.8a

注: 不同小写字母表示各指标不同处理间于 0.05 水平存在显著性差异。

Note: Different normal letters mean significant difference at 0.05 level under different treatments.

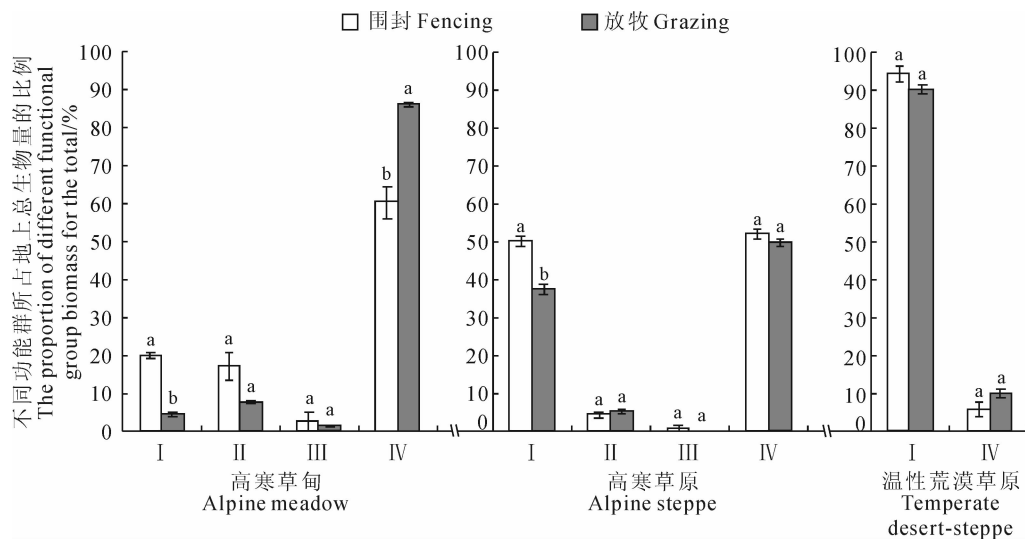


图3 围封和放牧对不同类型退化草地植物功能类群结构的影响

Fig. 3 The response of plant functional group structure for degraded grassland under fencing or grazing conditions

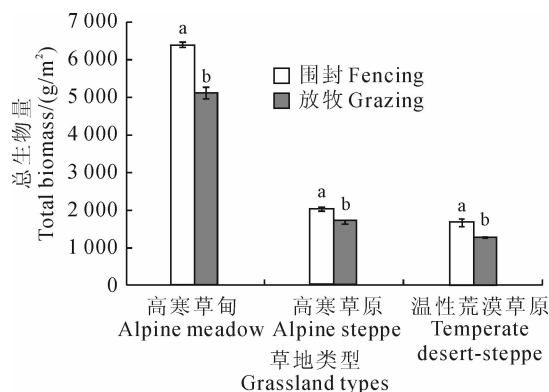


图2 围封和放牧对不同类型退化草地总生物量的影响

Fig. 2 The response of the total biomass for

degraded grassland under fencing or grazing conditions

的禾本科植物比例较放牧地均显著增加,分别增加了343.9%和33.9% ($P < 0.05$);高寒草甸杂类草比例较放牧地草显著降低,降低了30.1% ($P < 0.05$);莎草科和豆科植物的比例无显著性差异。围封对温性荒漠草原各功能群植物比例无显著性影响 ($P > 0.05$, 图3)。

3 讨论

放牧干扰对草地的直接影响体现在对其生产力及群落结构的改变^[15]。随着放牧率的增加,家畜对草地的选择性采食和践踏加剧,优质牧草生长受到抑制,植被高度下降,与其它物种的资源竞争力下降^[15],这为处于中间层、家畜不喜食的毒杂草生长提供了良好的微环境,加速了毒杂草的生长,最终导致草地群落结构发生变化^[16]。此外,家畜践踏显著

增加了土壤紧实度^[17],并使草地根系出现表层化现象^[18]。围封作为与放牧相反的干扰手段,可以提高草地群落优势种植物生物量,降低毒杂草生物量和比例,从而促使了退化草地正向演替^[14,19-21]。

放牧草地围封后,家畜对地上植物的啃食和践踏作用解除,草层高度增加,植物的光合能力增加,从而有效提高了地上生物量。与此同时,围封后,土壤紧实度下降,养分涵养能力逐渐改善,地下生物量也随之增加,这一结果进一步验证了桑永燕等^[20]、赵景学等^[14]、张晓艳等^[22]的研究报道,对于退化草地,围封可以有效提高草地植物地上和地下生物量。放牧条件下,草地群落的垂直结构发生改变^[15],适口性好的禾本科植物首先被采食,高度下降,这为处于下层的豆科和杂类草提供了较好的微环境,加速其生长,围封作为一种相反的手段,增加禾本科植物的竞争能力,促进了其生长,而豆科植物和杂类草植物对光、水等资源的竞争能力受到抑制^[22],部分杂类草会由于不适应竞争环境而被生态系统淘汰。本研究结果显示,围封条件下,高寒草甸禾本科和莎草科植物,以及高寒草原及温性荒漠草原禾本科植物生物量较放牧条件下均显著增加,这与仁青吉等^[15]、扎西文毛等^[23]、裴世芳等^[24]的研究结果相一致。植物地下部分与地上部分的生长息息相关,它们既相互竞争又相互依存,并与环境条件一起构成了相互协调的有机整体^[25]。3类草地地下生物量对围封的响应特征与地上总生物量一致,这与桑永燕等^[20]、范永刚等^[26]、孙熙麟等^[27]对高寒草甸、高寒草原和荒漠草原的研究结果相符。另外,根系在土壤的垂直分布规律是根系与环境因素长期作用与适

应的结果^[28]。本研究显示,与放牧相比,高寒草原土壤 0~10 cm 层根系生物量占地下总生物量的比例在围封样地显著下降,这说明放牧导致了根系浅层化,但由于地下活根系生物量仅占总根系生物量的 12.86%^[27],且围封后,优势物种竞争力增强,光合产物向地上转移^[29],但围封对高寒草原和温性荒漠草原的土壤表层根系生物量比例下降的影响不显著。

功能群通常被认为是与生态系统的某种功能相关的一类特定物种群,功能群内的物种的作用具有相似性,相对于草地物种组成而言,功能群决定着生态系统的生产力和稳定性,在研究植物对外界干扰的响应和资源利用状况等方面具有一定的优势^[30]。通过功能群结构的变化可以获得不同草地类型对放牧与围封的响应特征。直立性且长势较高的禾本科植物较低矮的豆科和杂类草植物在光资源或光能的

获取方面有较强的优势。食草作用的选择性假说认为,若家畜主要采食植物群落中的优势种,那么优势种因被采食高度降低,竞争能力随之下降,释放竞争压力,原本耐牧且家畜不喜食的杂类草植物则获得了较多的限制性资源^[30],从而使草地功能群结构发生变化。本研究中,对放牧地进行为期 5 年的围封后,高寒草甸和高寒草原禾本科植物的比例明显增加,高寒草甸杂类草的比例显著降低,温性荒漠草原的功能群结构无明显变化。这说明围封对高寒草甸植物功能群结构影响最大,高寒草原次之,温性荒漠草原最小。另外,有研究表明,功能群与气候存在相关性^[31],因此,围封对 3 类草地功能群结构影响的差异不仅取决于不同草地类型自身对环境适应的可塑性,还取决于气候因素。在以后的研究工作中,应加强对气候-植被-土壤系统的研究。

参考文献:

- [1] QIAO CH L(乔春莲), WANG J H(王基恒), GE SH D(葛世栋), *et al.* Comparison of soil properties under fencing and grazing in alpine-meadow on Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Pratacultural Science*(草业科学), 2012, **29**(03): 341—345(in Chinese).
- [2] JIANG X L(江小蕾), ZHANG W G(张卫国), YANG ZH Y(杨振宇), *et al.* The influence of disturbance on community structure and plant diversity of alpine meadow[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2003, **23**(9): 1 479—1 485(in Chinese).
- [3] ZHOU H K(周华坤), ZHOU L(周立), ZHAO X Q(赵新全), *et al.* Degradation process and integrated treatment of “black soil beach” grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2003, **22**(5): 51—55(in Chinese).
- [4] ZHOU H K, ZHOU L, ZHAO X Q, *et al.* Stability of alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51**(3): 320—327.
- [5] WU G L(武高林), DU G ZH(杜国祯). Discussion on ecological construction and sustainable development of degraded alpine grassland ecosystem of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Nature*(自然杂志), 2007, **29**(3): 159—164(in Chinese).
- [6] HOU F J(侯扶江), YANG ZH Y(杨中艺). Effects of grazing of livestock on grassland[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2006, **26**(1): 244—264(in Chinese).
- [7] DING Y J(丁永健), YANG J P(杨建平), LIU SH Y(刘时银), *et al.* Exploration of eco-environment range in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Acta Geographica Sinica*(地理学报), 2003, **58**(4): 519—526(in Chinese).
- [8] WU G X(吴国雄). Recent progress in the study of the Qinghai-Tibetan Plateau climate dynamics in China[J]. *Quaternary Sciences*(第四纪研究), 2004, **24**(1): 1—9(in Chinese).
- [9] 段红芳, 朱嘉睿, 马晓军. 青藏高原与高寒草地的退化及其恢复和可持续发展[EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线. (2013-01-30)[2014-03-31]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201301-1199>.
- [10] MA Y SH(马玉寿), LANG B N(郎百宁), LI Q Y(李青云). Study on rehabilitating and rebuilding technologies for degenerated alpine meadow in the Changjiang and Yellow River Source Region[J]. *Pratacultural Science*(草业科学), 2002, (19)9: 1—4(in Chinese).
- [11] CONZALES E K, CLEMENTS D R. Plant community biomass shifts in response to mowing and fencing in invaded oak meadows with non-native grassland and abundant ungulates restoration[J]. *Ecology*, 2010, **18**(5): 753—761.

- [12] MIAO F H(苗福泓), GUO Y J(郭雅婧), MIAO P F(缪鹏飞), *et al.* Influence of enclosure on community characteristics of alpine meadow in the northeastern edge region of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2012, **21**(3): 11–16 (in Chinese).
- [13] YAN Y CH(闫玉春), TANG H P(唐海萍). Effects of exclosure on typical steppe community properties in Inner Mongolia[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2007, **27**(6): 1 225–1 232 (in Chinese).
- [14] ZHAO J X(赵景学), QI B(祁彪), DUOJI D ZH(多吉顿珠), *et al.* Effects of short-term enclosure on the community characteristics of three types of degraded alpine grasslands in the north Tibet[J]. *Pratacultural Science* (草业科学), 2011, **28**(1): 59–62 (in Chinese).
- [15] REN Q J(仁青吉), WU G L(武高林), REN G H(任国华). Effect of grazing intensity on characteristics of alpine meadow communities in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2009, **18**(5): 256–261 (in Chinese).
- [16] HOLDAWAY R J, SPARROW A D. Assembly rules operating along a primary riverbed-grassland successional sequence[J]. *Journal of Ecology*, 2006, **94**(6): 1 092–1 102.
- [17] AN H(安慧), XU K(徐坤). The effect of grazing disturbance on soil properties in desert steppe[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2013, **22**(4): 35–42 (in Chinese).
- [18] WANG Y F(王艳芬), WANG SH P(汪诗平). Influence of different stocking rates on belowground biomass in Inner Mongolia Steppe[J]. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 1999, **7**(3): 198–203 (in Chinese).
- [19] SHEN J L(沈景林), TAN G(谭刚), QIAO H L(乔海龙), *et al.* Study on effect of grassland improvement on alpine degraded grassland vegetation[J]. *Grassland of China* (中国草地), 2000, **24**(3): 7–14 (in Chinese).
- [20] SANG Y Y(桑永燕), NING H C(宁洪才), QU H L(屈海林). Surveying biomass of degraded grassland for forbidden grazing and enclosing after three years[J]. *Qinghai Prataculture* (青海草业), 2006, **15**(3): 7–9 (in Chinese).
- [21] HAN D Y(韩大勇), YANG Y F(杨允菲), LI J D(李建东). Temporal changes of a community of *Leymus chinensis* meadow in the Songnen Plain[J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2007, **16**(3): 9–14 (in Chinese).
- [22] ZHANG X Y(张晓艳), HU Y K(胡玉昆), LI K H(李凯辉), *et al.* The changes of community structure and above ground biomass in *Stipa purpurea* steppe of enclosure[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2009, **23**(1): 197–200 (in Chinese).
- [23] ZHAXI W M(扎西文毛), ZHAO J ZH(赵建中), YAN ZH Y(严振英), *et al.* Study on the functional groups of degraded grassland in fencing[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2011, **39**(14): 8 650–8 652 (in Chinese).
- [24] 裴世芳. 放牧和围封对阿拉善荒漠草地土壤和植被的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [25] 王东波. 内蒙古典型草原退化群落植物根系分布浅层化的现象分析与激励探讨[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2007.
- [26] FAN Y G(范永刚), HU Y K(胡玉昆), LI K H(李凯辉), *et al.* Effects of different disturbances on the diversity and biomass of the phytobiocoenoses in alpine steppes[J]. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 2008, **25**(4): 531–536 (in Chinese).
- [27] SUN X L(孙麒麟), WANG M J(王明玖), CHEN H J(陈海军), *et al.* Response of underground biomass to different grazing intensities in the *Stipa breviflora* desert steppe[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (内蒙古农业大学学报), 2010, **31**(4): 101–104 (in Chinese).
- [28] 彭少邦. 云雾山草地根系分布特征与土壤理化性状研究[D]. 陕西杨陵: 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 2007.
- [29] 禹山林. 中国花生品种及其系谱[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008: 19–41.
- [30] TILMAN D, WEDIN D, KNOPS J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems[J]. *Nature*, 1996, **379**: 718–720.
- [31] 赵彬彬. 青藏高原高寒草甸植物群落组分地上生物量分配及群落结构对放牧的响应研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.