

高寒草甸矮嵩草对放牧扰动的生长反应 *

杨元武¹,李希来¹,李积兰¹,唐 燕¹,周华坤²,殷录昕¹

(1. 青海大学 农牧学院,西宁 810016;2. 中国科学院 西北高原生物研究所,西宁 810016)

摘 要: 对矮嵩草及其株丛在不同放牧强度下分蘖数、分株数、生殖枝数以及株丛面积的变化反应进行研究。结果表明,适度放牧有利于分株数的增加,而放牧过重或过轻不能刺激分株的形成。长期轻度放牧有利于矮嵩草的分蘖,放牧 5 a 后各株丛平均生殖分蘖数在不同放牧强度间均无显著差异。放牧过重,大株丛的分蘖数显著下降,放牧强度对大株丛生殖生长的影响小,第 6 年时中度放牧大株丛的分株数和面积显著大于其他处理;第 3 年时重度放牧中株丛的分株数显著增加,中株丛的生殖生长对放牧强度的响应不敏感,其面积在较长期轻度放牧时增加明显;放牧条件下小株丛的分株数显著增加,小株丛营养枝受放牧强度的影响较小,第 6 年时生殖枝数和面积均显著增加,放牧处理间无显著差异。

关键词: 矮嵩草;株丛大小;放牧强度;生长反应

中图分类号:S812.8

文献标志码:A

文章编号:1004-1389(2011)09-0018-07

Growth Response of *Kobresia humilis* to Grazing
Disturbance on Alpine Meadow

YANG Yuanwu¹, LI Xilai¹, LI Jilan¹, TANG Yan¹, ZHOU Huakun² and YIN Luxin¹

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China;

2. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810016, China)

Abstract: The paper studied the change of tillers, ramet, stalk and area of *Kobresia humilis* genet in different size and different grazing intensity. The results showed that moderately grazing was benefit to increasing of ramets. Overgrazing and lightly grazing can not stimulate shaping of ramets. Lightly grazing for a long time was benefit to *Kobresia humilis* to tiller. Mean stalks of different size genets did not indicate significant difference after 5 years grazing. Tillers of big genet decreased significantly if overgrazing for a long time. Stalk number had less effect from grazing intensity. The number of ramets and area of big genet were much than of other treatment significantly in the 6th year of moderately grazing. The number of ramets of moderate genet increased significantly in the 3rd year of overgrazing. Its reproduction growth showed a not sensitive response to grazing intensity. Its area increased significantly when longer lightly grazing. The number of ramets of small genet increase significantly under the condition of grazing. The ability of tiller of small genet had a less effect on grazing intensity. Stalk and area of small genet were both increased significantly in the 6th year and had not significantly difference between among grazing treatment.

Key words: *Kobresia humilis*; Size of genet; Grazing intensity; Growth response

放牧作为人类对草地生态系统最主要的干扰方式是之一,一直是草地生态学的研究热点^[1]。放牧是草地最简单而又经济的利用方式,其实质是一种生态干扰^[2]。根据“中度干扰假说”,放牧干

* 收稿日期:2010-12-14 修回日期:2011-03-26
基金项目:国家自然科学基金项目(39960053);青海省科技厅项目(2009-J-806)。
第一作者:杨元武,男,副教授,硕士。研究方向为草地生态与环境保护。E-mail:yyuanwu@163.com

扰可改变土壤理化性质,增加生境的异质性,造成草地群落植物组分、结构和多样性格局发生变化,对整个生态系统的结构和功能产生影响^[3]。有研究表明,放牧主要影响草地群落结构及其土壤生境的变化^[4]。长期不合理的放牧导致草地退化、盐碱化和生态环境恶化^[5]。

矮嵩草(*Kobresia humilis*)是莎草科多年生草本植物,典型的密丛型草类,属高抗逆性物种^[6-8],矮嵩草耐牧耐践踏,营养价值丰富,经济利用价值高,具有高蛋白、高脂肪、高无氮浸出物、低纤维素和高热值的“四高一低”典型特性,消化率56%~83%,且随海拔的升高而增加^[9],是高寒草甸地区的优良牧草。以矮嵩草为主要建群种的高寒草甸(Alpine meadow)是草甸草原的代表类型之一,高寒草甸植被低矮,放牧利用几乎是该草地类型的唯一利用方式,在高原畜牧业生产中占有重要的地位。近年来,随着人类活动对生态环境的影响日益剧增,不合理放牧成为青藏高原高寒草地退化的主要原因^[10]。包括放牧在内的干扰对生物个体,种群动态,群落结构和生态系统功能的影响机制逐渐成为当今生态学研究的热点和难点^[10-13]。现有研究主要集中在干扰对个体和种群水平上的特定物种功能特征和种群动态的影响^[14-15],群落水平上的群落结构和生态系统功能的影响^[16-17]以及对放牧的响应。放牧家畜通过选择性采食行为直接影响某些植物种群动态,并间接改变群落结构^[18],放牧强度的增加使地上部分生物量和净生产力显著降低。践踏对草地表层土壤养分和水分环境的改变间接地导致草地的退化^[19-20]。

本试验探讨长期放牧对矮嵩草种群及其构件的影响,比较研究放牧对不同大小株丛分株数、营养枝数、生殖枝数以及株丛面积的影响。从种群、功能群和群落3个层次探讨青藏高原高寒草甸退化的生态学机制,揭示该地区植物对放牧反应的特点及这种反应的内在动力和现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于中国科学院海北高寒草甸生态系统开放试验站进行。站区位于青藏高原东北隅祁连山东段北支冷龙岭南,地处N 37°29′~37°45′,E101°12′~101°33′之间。以低山、丘陵、滩地和河流阶地为主,海拔3 200~3 500 m,最高峰海拔

5 600 m。全年太阳辐射 $6.93 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-1}$,年均日照时数2 672.6 h,日照率60%,年均温为-1.7℃,1月均温-14.8℃,绝对最低气温-35.2℃,7月均温9.9℃,绝对最高气温23.7℃, $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温1 176.0℃。年均降水量614.8 mm,集中于6—8月,历年平均最大降水量在7月,为126.3 mm,12月平均降水量最小,为4.0 mm,无绝对无霜期。矮嵩草草甸是该区分布最普遍的草地类型之一,物种丰富度约30种/m²,群落总盖度约85%,土壤含水量约30%。主要优势种为矮嵩草(*Kobresia humilis*),伴生种有异针茅(*Stipa aliena*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、早熟禾(*Poa. spp.*)、羊茅(*Festuca spp.*)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、美丽凤毛菊(*Saussurea supera*)、麻花九(*Gentiana straminea*)、粗喙苔草(*Carex sczabrirostris*)、苔草(*Carex spp.*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、雪白委陵菜(*Potentilla nivea*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、高山唐松草(*Thalictrum alpinum*)、甘肃棘豆(*Oxytropis kansuensis*)、异叶米口袋(*Gueldenstaedtia diversifolia*)、甘肃马先蒿(*Pedicularis kansuensis*)、洽草(*Koeleria cristata*)及多种毛茛(*Ranunculus spp.*)等^[9]。

1.2 试材与方法

采用单因素设计,试验区用网围栏围建,总面积5.46 hm²。设重度放牧(A)、中度放牧(B)、轻度放牧(C)和不放牧(CK,对照)4个处理区,放牧强度分别为8、4、2和0只2龄藏羊/hm²,设计牧草利用率分别是90%、50%、30%和0,中度放牧强度与当地天然放牧强度接近。每个放牧处理区选择大、中、小矮嵩草无性系株丛各5丛,小株丛直径为2 cm左右,中株丛直径为4~8 cm,大株丛直径为10~16 cm。对照区所选株丛用铁丝笼罩住。

1.3 观测与记录

于2001年、2003年、2006年9月中旬观测记录每个株丛的分株数、营养枝数、生殖枝数以及株丛直径。游标卡尺测量株丛基部长直径和短直径,求其平均值作为圆的直径计算矮嵩草株丛的圆形面积。对各处理不同大小株丛进行方差分析,选择分株数、分蘖数、生殖枝数以及株丛直径在不同大小株丛间差异极显著,而同一大小株丛对不同处理间差异不显著的株丛进行标记,定株

观测。

1.4 数据分析

用 SAS 9.0 数据统计软件进行方差分析, 检验不同处理间及年份间的差异。

2 结果与分析

2.1 不同放牧年份对矮嵩草株丛生长的影响

对 2006 年 9 月处理的不同放牧强度下所有株丛总体分株数、营养枝数和生殖枝数进行方差分析, 检验各指标对不同放牧强度的生长反应。

2.1.1 分株数 各处理株丛分蘖数在第 3 年均有所不同程度的增加, 第 6 年减少。方差分析表明, 分株数在第 6 年除处理 B、C 与 CK 间有显著差异外, 其余各处理间均无显著差异(表 1), 即中度放牧强度时, 平均分株数最多, 为 5.4, 比 5 a 前增加 29.6%; 其次为轻度放牧和重度放牧, 分株数均有所增加; 不放牧时分株数最少, 为 3.9, 比 5 a 前减少 12.7%。说明适度放牧有利于分株数的增加, 而过度放牧或过轻不能刺激分株形成。

2.1.2 营养枝数 放牧第 3 年, 除 CK 处理株丛营养枝数有所下降, 其他处理营养枝数均增加, 但第 6 年时, 均比第 1 年有不同程度的下降, 且 C 处理和其他各处理间有显著差异(表 1), 即轻度放牧后, 各株丛营养分蘖数最多为 68.1, 依次为不放牧、中度放牧和重度放牧, 说明长期放牧情况下, 轻度放牧有利于矮嵩草分蘖。

2.1.3 生殖枝数 各种株丛平均生殖枝数在不同放牧强度间无显著差异, 不同强度放牧经 5 a 后, 对矮嵩草株丛平均生殖枝数影响不大($P>0.05$)。

2.2 不同放牧强度对株丛大小的影响

2.2.1 大株丛 不同放牧强度下, 大株丛分株数在试验第 3 年显著增加, 而在第 6 年时又急剧下降(图 1)。大株丛年龄相对较大, 有较多生殖枝, 生殖枝当年开花结实后全部死亡, 故第 3 年分株

Table 1 Difference of ramet and tiller number in different treatment after 5 years of grazing

处理 Treatment	平均分株数 Mean of ramet	平均营养枝数 Mean of tiller
B	5.4 a	46.1 a
C	4.8 a	68.1 b
A	4.6 ab	46.0 a
CK	3.9 b	46.9 a

注: 同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Note: Different letter indicate significant difference at 0.05 level.

数有明显增加。但随年龄进一步增大, 分株数减少。第 3 年时处理间无显著差异, 第 6 年时中度放牧处理和其他处理间有显著差异。因为分株主要由分蘖经过生殖生长死亡或二龄分蘖死亡后形成, 因此, 放牧并不直接影响株丛分株数, 其规律性不明显。

大株丛分蘖数除 CK 外, 其他处理在放牧第 3 年有所增加, 第 6 年时均明显下降(图 2)。其中 A 处理 3 个年份间平均呈现显著差异, 其中第 6 年与前 2 个年份间差异极为显著, B 处理第 6 年分蘖数显著低于第 3 年, C 处理分蘖数在 3 年间差异不显著, CK 处理分蘖数在第 3 年和第 6 年均有所下降, 第 6 年比第 1 年下降明显。而不同处理放牧第 3 年和第 6 年差异均不明显。放牧强度较大时, 会刺激第 3 年分蘖数增加, 轻度放牧时, 分蘖数增加不明显, 不放牧时分蘖数甚至有所下降, 但随放牧时间的延长, 第 6 年时大株丛营养枝数均下降, 且放牧强度较大时下降更为明显。

在不同放牧强度下, 大株丛生殖枝数变化规律不一致(图 3)。中度放牧的后期, 大株丛生殖枝数增加较大。在各处理中, 大株丛生殖枝数在

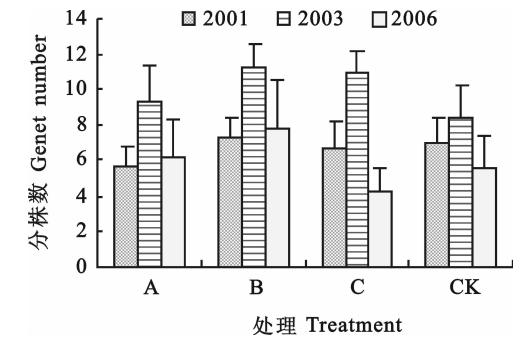


图 1 各处理大株丛分株数的变化
Fig. 1 Tiller number change of big genet in different treatment

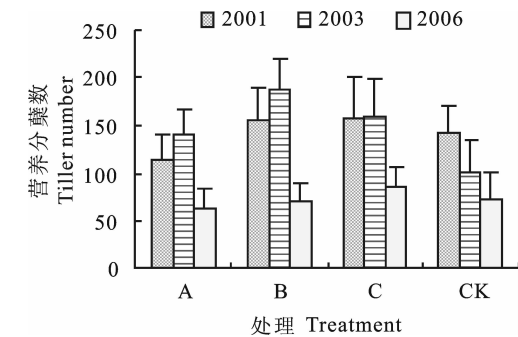


图 2 各处理大株丛营养分蘖数的变化
Fig. 2 Tiller number change of big genet in different treatment

3 个年份间均无显著差异,第 3 年和第 6 年时各处理间差异均不显著。有性繁殖在无性繁殖发展到一定阶段时才出现,放牧家畜主要采食营养枝叶片和当年生殖枝花序,对当年营养枝潜在有性繁殖能力影响不明显。

随时间延长,不同放牧强度下大株丛的面积有增加(图 4),其中 B 处理第 6 年比第 1、3 年面积显著增加($F=2.14, P=0.0321$),其余处理在 3 个年份间变化不大;第 3 年和第 6 年各处理大株丛面积均无显著差异。可见,虽然分株数、分蘖数和生殖枝数有不同的变化,但面积却保持较小程度的稳定增加。

2.2.2 中株丛 分株数在 A、B、C 3 种处理中的变化较大(图 5)。第 6 年和第 3 年 A 处理分株数较第 1 年显著增加。第 3 年 B 处理分株数极显著高于第 1 年和第 6 年。中株丛的分株数在处理初期受放牧强度的影响较大,而时间较长时,放牧较轻会有利于其分株。第 6 年 C 处理分株数显著高于第 3 年和第 1 年,而 CK 处理分株数在 3 个年份间变化不明显。第 3 年时, B 处理与其他处

理差异极显著,第 6 年时, C 处理与 CK 处理差异显著。

从中株丛营养枝数的变化情况(图 6)可以看出, A 处理和 C 处理营养枝数在 3 个年份间变化不明显,而在 B 处理第 6 年营养枝数极显著低于放牧初期。CK 处理第 3 年和第 6 年营养枝数显著低于放牧初期。不同放牧强度下,第 3 年和第 6 年营养枝数变化各异,第 3 年时 B 处理的最高,第 6 年时 C 处理最高,即随放牧时间的延长,中株丛矮嵩草分蘖数在轻度放牧时较为稳定。

从中株丛生殖枝数变化情况(图 7)可以看出, A、B、C、CK 4 种处理在不同年份间生殖枝数的变化均不明显,在同一年份不同放牧处理间也无显著差异,说明中株丛的生殖生长对不同放牧强度的响应不敏感。

不同放牧强度下中株丛面积有增大的趋势(图 8)。除 CK 外其余 3 种处理都出现显著或极显著的变化。第 3 年各处理株丛面积差异不显著,但第 6 年有显著差异($F=3.38, P=0.0444$)。即中株丛面积在较长期轻度放牧时增

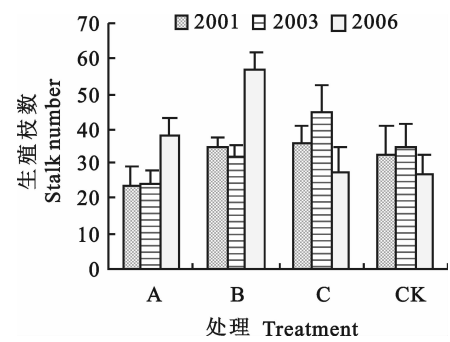


图 3 不同处理大株丛生殖枝数的变化
Fig. 3 Stalk number change of big genet in different treatment

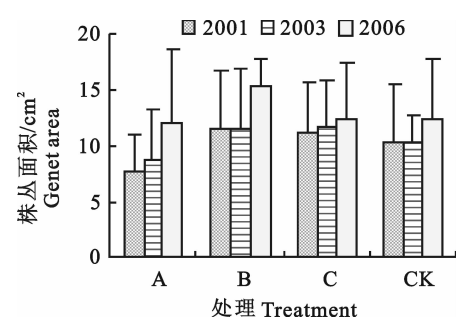


图 4 不同处理大株丛面积的变化
Fig. 4 Area change of big genet in different treatment

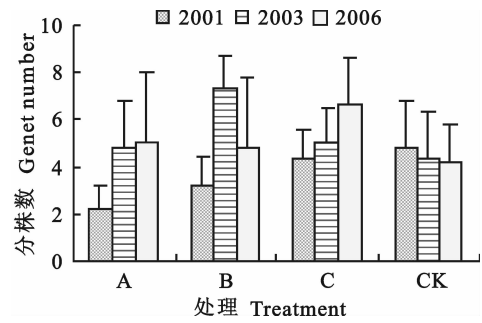


图 5 不同处理中株丛分株数的变化
Fig. 5 Ramet number change of moderate genet in different treatment

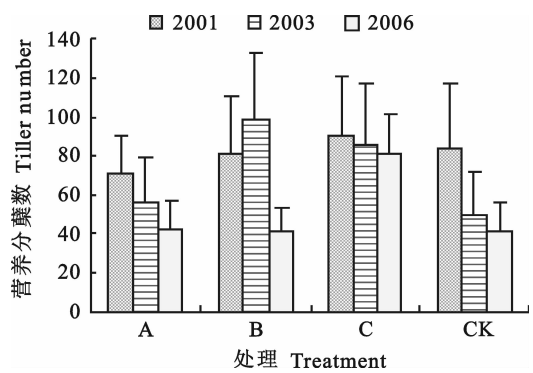


图 6 不同处理中株丛营养分蘖数的变化
Fig. 6 Tiller number change of moderate genet in different treatment

加明显,说明中株丛受长期放牧影响较大。

2.2.3 小株丛 不同放牧强度下小株丛分株数均增加(图 9),其中 A、B、C 处理小株丛分株数在第 6 年极显著高于前 2 个年份,而在 CK 中,小株丛分株数在 3 个年份间变化不显著($F=1.27$, $P=0.3153$)。第 3 年不同处理间分株数差异不显著,而第 6 年,CK 处理分株数显著低于其他处理,说明放牧有利于小株丛分株的形成。

不同放牧强度下,除 A 处理,其他营养枝数

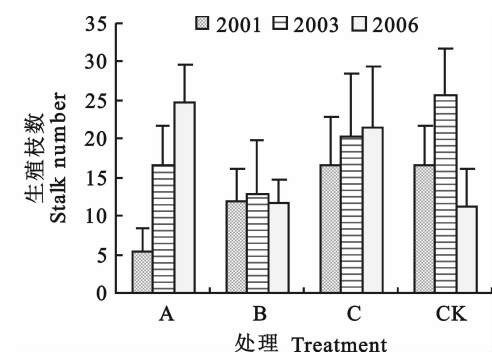


图 7 不同处理中株丛生殖枝数的变化

Fig. 7 Stalk number change of moderate genet in different treatment

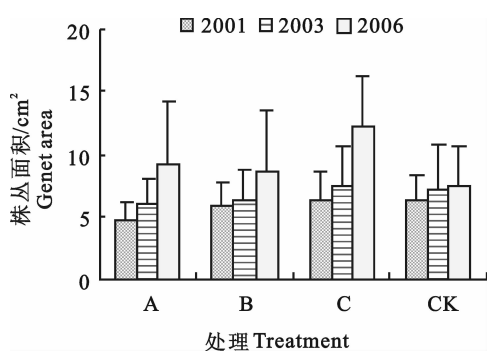


图 8 不同处理中株丛面积的变化

Fig. 8 Area change of moderate genet in different treatment

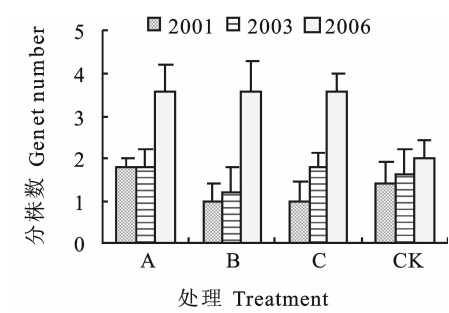


图 9 不同处理小株丛分株数的变化

Fig. 9 Ramet number change of small genet in different treatment

均有增加的趋势(图 10)。A、B、C、CK 4 种处理营养枝数随时间变化均不明显,而且第 3 年和第 6 年各处理间均无显著差异,说明小株丛营养枝数受放牧强度的影响不大。

小株丛生殖枝数在不同放牧强度下均有增加(图 11)。小株丛在试验初期生殖枝数较少,主要进行营养繁殖,因此在第 3 年变化不大,但第 6 年时增加很多。其中 B 处理第 6 年时的生殖枝数显著高于前 2 个年份,而 A、C、CK 处理中极显著高于前 2 个年份。不同放牧强度下,C 处理小株丛生殖枝数最多,但第 3 年和第 6 年时处理间无显著差异。

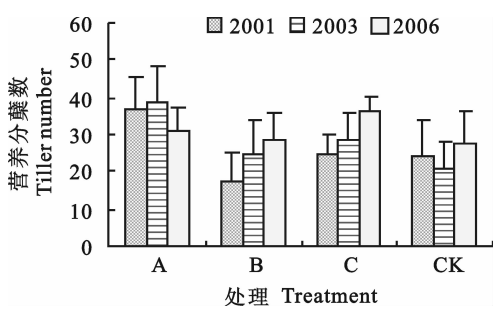


图 10 不同处理小株丛营养分蘖数的变化

Fig. 10 Tiller change of small genet in different treatment

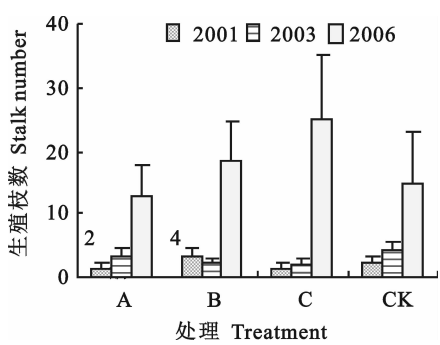


图 11 不同处理小株丛生殖枝数的变化

Fig. 11 Stalk change of small genet in different treatment

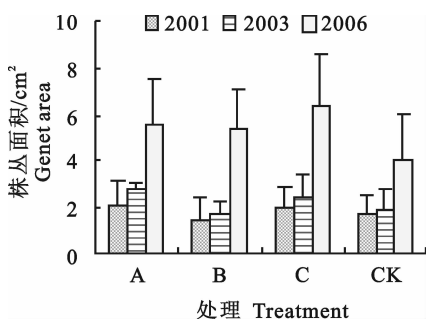


图 12 不同处理小株丛面积的变化

Fig. 12 Area change of small genet in different treatment

小株丛面积的变化呈显著增加趋势(图 12)。所有处理小株丛面积在第 6 年均极显著高于第 3 年和第 1 年。第 6 年各处理间无显著差异。说明小株丛面积无论在何种放牧强度下增加迅速而稳定,受放牧强度的影响较小。

3 讨论

3.1 矮嵩草对不同放牧强度的响应

大型食草动物的放牧采食是草地生态系统主要的环境因子和重要的进化驱动力。植物被反复、强烈地采食后往往表现出独特的形态和生理特点,而且不同植物对放牧采食的反应也不同。本试验研究表明,试验第 3 年大株丛分株数明显增加,但不同放牧强度对大株丛各指标影响不大;中株丛所有处理的分蘖数在第 3 年时均有不同程度的增加,在第 6 年又有所减少。说明适度放牧有利于分株数的增加,而放牧过轻或不放牧不能刺激分株形成,并且放牧强度对矮嵩草分蘖的刺激作用是短期的。各种株丛生殖株数在不同放牧强度及不同年份间无显著差异。有性繁殖是无性繁殖发展到一定阶段时才出现的,放牧家畜主要采食营养枝叶片和当年生殖枝花序,对当年营养枝潜在有性繁殖能力的影响不大。虽然各处理大株丛分株数、分蘖数和生殖枝数有不同变化,但面积却保持较小程度的稳定增加;中株丛分株数在放牧初期受放牧强度的影响较大,时间较长时,放牧较轻会有利于其分株形成。营养枝数的变化在不同放牧处理间均无显著差异。中株丛生殖生长对放牧强度的反应不敏感,其面积随时间延长均表现增加的趋势,除 CK 处理外其余处理表现显著或极显著变化;小株丛分株数在不同放牧强度下均增加,放牧利于小株丛分株形成,不同放牧强度下 B、C 和 CK 处理营养枝数均有增加趋势,长期放牧强度过大时小株丛分蘖能力减弱。所有处理小株丛面积在第 6 年时均极显著高于第 3 年和第 1 年,小株丛面积无论在何种放牧强度下都快而稳定增加。

3.2 矮嵩草不同构件层次对放牧的响应

由于克隆植物相连分株间的生理整合作用能够修饰表型可塑性,使其在不同等级水平上的可塑性反应存在差异^[21-23]。Hartnett 对一枝黄花(*Solidago canadensis*)叶片、分株和分蘖密度调节的研究表明,各部分数量动态的调节都是叶片出生率减少,死亡率增加以及叶片较早发生死亡的

综合结果^[24]。表明在各种选择压力作用下构件等级间的反应不同,但这种反应是否是无性系株丛的大小有无关系呢?通过本试验发现,矮嵩草对放牧的扰动在不同大小株丛间有不同的反应,不论放牧强度如何,不同株丛在不同年龄阶段都按固有的自然消长规律变化,而放牧扰动只会较轻程度地影响不同等级结构的数量,因此,在本试验范围内,无论放牧强度有多大,矮嵩草的面积都在持续增加。不同大小的株丛对放牧扰动的反应程度不同,较小的株丛受放牧扰动的影响较大。矮嵩草对放牧扰动的反应在不同的结构等级之间有显著差异^[25],越是更小一级的结构,对放牧的反应越敏感,本试验的结果支持“中度干扰理论”,这与董全民^[26]和马红彬等^[27]的研究结果一致。从最小的结构等级——分蘖到最大的结构等级——无性系株丛,对放牧的影响逐级缓冲,从而保持了无性系株丛在外界干扰下的稳定性,这些特点可能是矮嵩草长期适应放牧压力的结果。

4 结论

不同放牧强度对大、中株丛分蘖数的影响较大。大小株丛在不同放牧强度下的繁殖对策各异,大株丛随年龄的增加,面积进一步增大,但分蘖数和分株数趋于稳定甚至下降,株丛内部大部分分蘖死亡,现存的生殖枝和分蘖分布于无性系的外围区,并以营养枝向外扩充。不同放牧条件下小株丛的分株数显著增加,小株丛营养枝受放牧强度的影响较小,生殖枝数和面积第 6 年时均显著增加。小株丛第 3 年营养枝增加较多,以增加单位营养面积内的枝条数适应放牧扰动,后期随着死亡生殖枝数的增加形成较多的分株。中株丛分株数和分蘖数的变化介于大小株丛之间。矮嵩草构件结构等级越低,对放牧的反应越敏感。

参考文献:

- [1] 仁青吉,武高林,任国华.放牧强度对青藏高原东部高寒草甸植物群落特征的影响[J].草业学报,2009,18(5):256-261.
- [2] McIntyre S, Lavorel S, Landsber J. Disturbance response in vegetation towards a global perspective on functional react[J]. Journal of Vegetation Science, 1999, 10(5): 621-630.
- [3] 江小蕾,张卫国,杨振宇,等.不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响[J].西北植物学报,2003,23(9):1479-1485.

- [4] 王仁忠,李建东.放牧对松嫩平原羊草草地影响的研究[J].草业科学,1992,9(2):11-14.
- [5] 董全民,马玉寿,李青云,等.牦牛放牧率对小嵩草高寒草甸植物群落的影响[J].中国草地,2004,26(3):24-32.
- [6] 王长庭,龙瑞军,丁路明.青藏高原高寒嵩草草甸基本特征的研究[J].草业科学,2004,21(8):16-19.
- [7] 杨永昌.青海的嵩草属植物[J].植物分类学报,1976,14:41-50.
- [8] 周立华.西宁植物志[M].北京:中国藏学出版社,1999.
- [9] 徐世晓,赵新全,孙平.青藏高原不同海拔梯度2种莎草科牧草模拟体外消化率研究[J].西北植物学报,2003,22(5):1191-1196.
- [10] 武高林,杜国祯.青藏高原退化高寒草地生态系统恢复和可持续发展探讨[J].自然杂志,2007,29(3):159-164.
- [11] Foin T C,Rilay S P D,Ayres D R,*et al.* Improve recovery planning for threatened and endangered species[J]. Bio Science,1998,48:177-184.
- [12] Pierre Hiernaux. Effect of grazing on plant species composing and spatial distribution in rangelands of the Sahel [J]. Plant Ecology,1998,138:191-202.
- [13] Fox J W. The long-term relationship between plant diversity and total plant biomass depend on the mechanism maintaining diversity[J]. Oikos,2003,102:630-639.
- [14] Sternberg M,Gutman M,Perevolotsky A,*et al.* Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community:a functional group approach[J]. Journal of Applied Ecology,2000,37:224-237.
- [15] Diaz S,Lavorel S,Ntyre S,*et al.* Plant trait responses to grazing-A global synthesis [J]. Global Change Biology, 2007,13:313-341.
- [16] Peter A V,Mark W. Predicting plant species responses to grazing[J]. Journal of Applied Ecology, 2001, 38(5): 897-909.
- [17] Lavorel S,Flannigan M D,Lambin E F,*et al.* Vulnerability of land systems to fire: Interactions among humans, climate,the atmosphere, and ecosystems[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2007, 12(1): 33-53.
- [18] 李金花,李镇清,任继周.放牧对草原植物的影响[J].草业学报,2002,11(1):4-11.
- [19] 杜岩功,梁东营,曹广民,等.放牧强度对嵩草草甸草毡表层及草地营养和水分利用的影响[J].草业学报,2008,17(3):146-150.
- [20] 王长庭,王启兰,景增春,等.不同放牧梯度下高寒小嵩草草甸植被根系和土壤理化特征的变化[J].草业学报, 2008,17(5):9-15.
- [21] Alpert P. Effects of clonal integration on plant plasticity in *Fragaria chiloensis* [J]. Plant Ecology,1999,141:99-106.
- [22] Turkington R, Hamilton R S,Gliddon C. Within population variation in localized and integrated responses of *Trifolium repens* to biotically environments [J]. Oecologia, 1991,86:183-192.
- [23] Dong M. Morphological responses to local light conditions in clonal herbs from contrasting habitats,and their modification due to physiological integration [J]. Oecologia, 1995,101:282-288.
- [24] Hartnett D C,Bazzaz F A. The regulation of leaf,ramet and genet densities in experimental population of the rhizomatous perennial *Solidago canadensis* [J]. Journal of Ecology,1985,73:429-443.
- [25] 朱志红,王刚,王孝安.克隆植物矮嵩草对放牧的等级性反应[J].生态学报,2006,26(1):281-290.
- [26] 董全民,赵新全,马玉寿,等.放牧强度对江河源区垂穗披碱草、星星草混播草地群落和高原鼠兔的影响[J].西北农业学报,2006,15(2):28-33.
- [27] 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.