

青藏高原东部高寒草甸群落生物量和 补偿能力对施肥与刈割的响应

马 涛¹ ,武高林¹ ,何彦龙^{1 2} ,文淑均¹ ,何俊龄² ,刘锦霞³ ,杜国祯^{1,*}

(1. 兰州大学干旱农业生态教育部重点实验室,兰州 730000 ;2. 兰州大学草地农业科技学院,兰州 730000

3. 宁夏环境科学设计研究院,银川 750004)

摘要 :以青藏高原东部高寒草甸群落为研究对象,通过比较了不同施肥条件和不同刈割对群落地上生物量和多样性的影响。结果表明施肥可提高生物量且生物多样性降低,施肥和刈割处理后,施肥效应显著而刈割效应不显著,说明施肥是主效应。实验还发现施肥可提高群落的补偿能力,不同资源梯度的情况下植物群落对刈割处理后补偿作用也不相同,对刈割处理后植物群落补偿能力随资源的升高而增强。当未施肥和施肥 30 g/m² 时相同强度的 1 次刈割的补偿能力较相同强度的 2 次刈割的补偿能力大,当施肥 60g/m² 和 120 g/m² 时相同强度的 2 次刈割的补偿能力较相同强度的 1 次刈割的补偿能力大。

关键词 :施肥 ;生物量 ;刈割 ;补偿效应

文章编号 :1000-0933 (2007) 06-2288-06 中图分类号 :Q143 ,Q145 ,Q948 ,S812 文献标识码 :A

The effect of simulated mowing of the fertilizing level on community production and compensatory responses on the Qinghai-Tibetan

MA Tao¹ ,WU Gao-Lin¹ ,HE Yan-Long^{1 2} ,WEN Shu-Jun² ,HE Jun-Ling² ,LIU Ji-Xia³ ,DU Guo-Zhen^{1,*}

1 Key Laboratory of Arid Agroecology of Ministry of Education , Lanzhou University , Lanzhou 730000 , China

2 College of Pastoral Agricultural Science and Technology of Lanzhou university , Gansu Lanzhou , 730000

3 Ningxia Research and Designing Institute of Environmental Science , Ningxia Yinchuan 750004 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2288 ~ 2293.

Abstract : Understanding the effects of mowing and fertilizer on pasture land is critical for effective management. This study , at the Pasture Land Station of Maqu in southern Gansu , examined the effects of 4 fertilizer addition levels and 6 mowing intensities on community structure and plant aboveground biomass. Our result showed that species richness decreased along fertilizing gradients , and the soil fertility treatments significantly affected aboveground biomass , with 30g/m² (NH₄)₂HPO₄ resulting in the highest levels of aboveground biomass. The mowing treatment did not significantly affect aboveground biomass. The soil fertility and mowing treatments significantly affected community compensation ability. These results indicated that community compensation ability was directly related to the soil fertility levels , so that fertilizer can enhanced community compensation. Different fertilizer levels and mowing treatments had different effects on compensatory responses with compensation ability increasing along fertilizing gradients. The least fertile soil and 30g/m² (NH₄)₂HPO₄ with one mowing event had a compensation ability two times greater than other treatment combinations. The 60g/m²

基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (90202000)

收稿日期 :2006-06-27 ;修订日期 :2006-11-28

作者简介 :马涛 (1981 ~) ,男 ,回族 ,宁夏银川人 ,硕士生. 主要从事植物生态研究. E-mail :matao2004@st.lzu.edu.cn

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

Foundation item :The project was financially supported by National Science Foundation of China (No. 9020200)

Received date 2006-06-27 ; **Accepted date** 2006-11-28

Biography :MA Tao , Master , mainly engaged in plant ecology. E-mail :matao2004@st.lzu.edu.cn

(NH₄)₂HPO₄ soil fertility treatment and 120g/m² (NH₄)₂HPO₄ with two mowing events resulted in lower compensation ability.

Key Words : fertilizing biomass mowing compensatory responses

植物补偿作用是指植物受到有蹄类动物和草食性昆虫采食后所表现出的补偿性再生长^[1]。因为对于动物的采食来说,植物的补偿性生长因物种而异且随其本身的生活史阶段和所处环境条件的不同而具有可塑性。也就是说,植物的补偿效应取决于被食植物与环境之间的相互作用。如:采食或刈割的时间及强度^[2]、可用性土壤养分含量^[3]、动物采食过程、类型及时间等都影响着植物补偿性生长的程度。

目前,植物的补偿研究主要集中于个体水平上,在植物群落水平上的研究很少有报道^[4,5]。种群水平上,放牧或刈割后对植物补偿起着重要的作用^[5]。影响植物补偿作用的各种外部因素,如营养的补充利用、采食强度、采食时间、采食者的分布等^[2,6]、植物受采食之后的营养利用,不仅影响植物的生长,而且也影响植物体内营养物质的分配^[7,8]。放牧或刈割后种内竞争降低也对植物补偿作用起着重要作用^[5]。最适营养水平与最低营养供给关系如同促进植物生长的营养元素(如N、P、S)与其它营养元素(如K等)关系,都会影响生物量的分配^[9],而高寒草甸中N、P均是影响植物生长的限制因子^[10]。在高资源情况下植物的补偿能力会增强^[11,12]。由此,可以提出科学假设:超补偿现象更易在施肥后出现。进一步假设:施肥梯度的增高,植物群落受刈割程度越强,其补偿能力也越大。本文试图通过考察施肥和不同刈割强度处理对高寒草甸群落的影响,探讨群落补偿作用的特点,了解供施肥和不同刈割情况下群落生产力和群落补偿能力的变化。

1 材料与方法

1.1 实验区概况和试验方法

实验区位于甘肃省玛曲县县城西黄河北 5km 处,是开阔的黄河滩地。地处 35°58'N,101°53'E;海拔 3500m 左右,年均温 1.2℃,月均温从 1 月份的 -10℃到 7 月份的 11.7℃;年降水量约为 620 mm,属高寒湿润区,年日照时数约 2580h,年平均霜日大于 270d;主土壤类型为亚高山草甸土,植被类型是以莎草科的线叶嵩草(*Kobresiacapillifolia*),禾本科的羊茅(*Festucaovina*)、波伐早熟禾(*Poaapoophagorum*)、剪股颖(*Agrostismatsumurae*)的一些种,菊科的瑞苓草(*Saussureanigrescens*)等若干属和毛茛科钝叶银莲花(*Anemoneobtusiloba*)的一些种为优势种并伴以其他杂草的典型高寒草甸。主要是多年生草本,仅有少数 1 年生植物。实验草场地势平坦,坡度约为 3°,于 1999 年 12 月围栏之后仅在冬春季放牧。

植物群落通常是 N 限制的^[13],而高寒草甸中 N、P 均是限制因子^[10],所以选择施用 N 和 P 肥,每年仅在生长季节之初施 1 次。本试验自 2002 年的 5 月底每年施肥至今,所施肥料为颗粒状磷酸氢二氮,均匀撒施。施肥量为 30、60、120 g/m² 和不施肥共 4 个水平,分别记为 N0、N1、N2 和 N3,每个施肥水平重复 4 次,共 16 个小区,每小区面积为 10 m × 6 m。各小区间有 1 m 的缓冲带,缓冲带不施肥,各区的四角用木桩标记。刈割处理自 2002 年开始至今每年进行 3 次样方调查,16 个小区中分 7 个处理,设计了以下 7 个干扰强度的处理:①不刈割,即对照处理;②每年 6 月底 7 月底模拟重牧 1 次,即刈割处理,留茬 2cm;③每年 6 月底 7 月底模拟重牧 2 次,即刈割处理,留茬 2cm;④每年 6 月底和 7 月底模拟中牧 1 次,即刈割处理,留茬 4cm;⑤每年 6 月底和 7 月底模拟中牧 2 次,即刈割处理,留茬 4cm;⑥每年 6 月底和 7 月底模拟轻牧 1 次,留茬 10cm;⑦每年 6 月底和 7 月底模拟轻牧 2 次,即刈割处理,留茬 10cm。在每年的 8 月底将地上生物量全部刈割。

1.2 野外调查

大面积巢式样方被认为是草地群落多样性调查的有效方法^[14]。于每年的 6、7 和 8 月底 3 次调查各样区,调查方法为样方法。于每个样区随机选取样方,离开样区边缘 50 cm 以上以避免边缘效应。样方面积为 50cm × 50cm。取样時計测每个种的高度、盖度、多度,称其鲜重,然后带回实验室在 80℃条件下烘 10 h 后称重。

1.3 补偿指数

Belsky^[11]认为补偿性生长是植物受伤害之后的一种积极反应,并定义超补偿为由于采食而增加植物的生物量和种子产量。Maschinski 和 Whitham^[11]及 Hj 'lten^[5]也给补偿以类似的定义,并分为超补偿、等量补偿和不足补偿。而 Belsky 对补偿的定义和分类见下表 1。

表 1 刈割后植物群落的补偿效应
Table 1 Compensatory growth of plants community in response to tissue removal

植物的效应 Plant response	处理和对照的关系 Treatment and CK	生长补偿 (%) Compensation growth
超补偿 Overcompensation	G/C > 1	> 100
等量补偿 Exact compensation	G/C = 1	= 100
不足补偿 Undercompensation	G/C < 1	< 100

G 9 月生长季末收获时的干生物量与每次刈割干生物量之和 C 9 月生长季末收获时对照的干生物量
G Some of biomass mowed in the end of the growing season in September and the biomass mowed in each time C Contrasted biomass mowed in the end of growing season in September

2 数据处理

数据是在 SPSS11.5 软件中进行计算和作图,差异显著性用广义线性模型 (GLM)二因子方差分析。

3 结果与分析

3.1 施肥后 (未刈割)高寒草甸物种多样性、生产力和密度的变化

围栏导致围栏内物种的丰富度减小^[16],根据围栏外物种丰富度的对照 (围栏外物种 38 个/0.25m²)7 年的围栏导致围栏内物种减少。表 2 中多样性变化表明随着施肥梯度的增加群落中物种丰富度减小,依次是 28、24、19 和 9 个物种组成,生物量在施肥 30g/m²时达到最大。若以物种多样性指数 (H')为依据,依次是 N0 > N1 > N2 > N3。不同的环境资源和环境异质性是形成群落结构特征、物种多样性分布格局差异的主要原因之一。处在不同施肥梯度下的群落物种多样性丰富度变化趋势趋于一致,即随着施肥梯度的升高而降低,与施肥增加生产的同时,也导致草地群落中物种多样性的下降的结论一致^[17]。而在不同资源环境中群落的生产力没有共同的变化趋势,这是由于甘南高寒草甸对施肥存在阈值^[18]:如表 2 所示,生产力随施肥度迅速提高,但施肥对生产力的作用不是简单的线性相关,存在一个阈值 (30g/m²),超过这个值,施肥的作用就不显著了。随着施肥的增加,禾草生物量迅速上升,所占比例极大增加,其他几类草明显减少。施肥导致了群落中植物的密度降低。在不施肥的对照区密度达到了最大值 975 个/m²,随着施肥梯度的增高高寒草甸群落的植物密度随着下降。

表 2 不同施肥梯度下植物群落物种丰富度、多样性、生产力和密度
Table 2 Richness, diversity, productivity of plant community and population density in different fertilizing level

施肥梯度 Fertilizing level	丰富度 (个) Richness	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	地上生物量 (g/0.25m ²) Aboveground biomass	密度 (个/m ²) Density
N0	28	4.104	84.635	975
N1	24	3.667	103.768	872
N2	19	2.935	87.009	715
N3	9	1.736	79.388	489

3.2 不同施肥梯度下刈割处理对生物量的影响

通过 3a 连续施肥及刈割处理,6 种不同刈割处理后施肥对群落的生物量的效应显著 ($F = 22.218, P = 0 < 0.05$),通过 6 种刈割处理下施肥与地上生物量的相关性分析表明,6 种不同刈割处理后群落的生物量和施肥梯度间呈正相关 (相关系数为 0.337, $P = 0 < 0.01$),即刈割后地上生物量随着施肥的提高而增加,一元线性回归方程是 $y = 85.508 + 0.257x, P = 0$ 。施肥可提高植物营养生长与生殖生长的能力从而也可提高群体生产

力^[5]。6种不同刈割处理对群落生物量的影响效应不显著($F=1.210$, $P=0.303>0.05$),即不同刈割之间群落生物量差异不显著。6种不同刈割处理与施肥之间不存在交互效应($F=0.936$, $P=0.536>0.05$)。刈割对群落生产力的影响不显著可能是由于施肥梯度造成补偿效应的不同而造成的,这说明施肥和刈割两个因素中施肥对生物量的影响是主效应,随着施肥梯度的增高对群落生物量的影响也随之增强。

3.3 施肥和刈割后对群落补偿作用的影响

二因子方差分析表明,施肥处理对植物群落补偿指数产生明显的影响效应。4种施肥处理对植物群落补偿指数的影响效应显著($F=10.541$, $P=0<0.05$)。6种刈割处理对植物群落补偿指数的影响效应不显著($F=0.750$, $P=0.589>0.05$)。通过4种施肥处理与高寒草甸植物群落补偿效应的相关性分析表明,相关性系数为0.508, $P=0<0.01$ 。4种施肥处理与高寒草甸植物群落补偿效应呈正相关,即随着施肥梯度的增高高寒草甸植物群落的补偿效应也增强。

不同刈割与施肥处理条件下,6种刈割处理下各施肥梯度群落的补偿指数如表3所示。没有施肥的对照区6种刈割处理下地上生物量补偿指数小于1,明显发生了不足补偿。在N0中,地上生物量补偿指数均接近1,发生了接近等量补偿。在N1中,地上生物量补偿指数均大于1,发生了接近等量补偿或超补偿。在N2中,地上生物量补偿指数均大于1,明显发生了超补偿。可见在未施肥的处理下群落的补偿指数均小于1,植物群落发生不足补偿;当施肥大于 $30\text{g}/\text{m}^2$ 的处理下群落的补偿指数大于或等于1,植物群落发生等量补偿或超补偿。施肥和高寒草甸植物群落的补偿指数呈线性关系,这表明施肥有效的提高了高寒草甸植物群落的补偿能力(如图1)。

表3 刈割与施肥条件下补偿指数的变化
Table 3 The effects of mowing and fertilizing on community compensation index

施肥梯度 Fertilizing level	刈割 Mowing intensity					
	1	2	3	4	5	6
N0	0.69 ± 0.10	1.10 ± 0.76	0.85 ± 0.37	0.77 ± 0.26	1.20 ± 0.73	0.81 ± 0.22
N1	1.03 ± 0.42	0.99 ± 0.37	1.17 ± 0.29	1.20 ± 0.15	0.90 ± 0.24	0.96 ± 0.30
N2	1.12 ± 0.38	1.53 ± 0.61	1.02 ± 0.20	1.11 ± 0.28	1.21 ± 0.36	1.16 ± 0.37
N3	1.38 ± 0.62	1.34 ± 0.40	1.42 ± 0.67	1.65 ± 0.45	1.87 ± 0.69	1.54 ± 0.27

1. 重度刈割1次 Heavy 1; 2. 重度刈割2次 Heavy 2; 3. 中度刈割1次 Medium 1; 4. 中度刈割2次 Medium 2; 5. 轻度刈割1次 Light 1; 6. 轻度刈割2次 Light 2

3.4 不同刈割强度和频度对高寒草甸植物群落补偿效应的影响。

不同刈割强度处理水平下高寒草甸植物群落补偿效应的反应见图2。在未施肥处理下轻度刈割1次植物群落的补偿指数最大;在施肥 $30\text{g}/\text{m}^2$ 处理下中度刈割1次植物群落的补偿指数最大;在施肥 $60\text{g}/\text{m}^2$ 处理下重度刈割2次植物群落补偿指数最大;在施肥 $120\text{g}/\text{m}^2$ 处理下中度刈割2次植物群落的补偿指数最大。

同时期相同刈割强度不同频度刈割处理下高寒草甸植物群落的补偿反应如图2所示。在未施肥的对照处理和施肥 $30\text{g}/\text{m}^2$ 的处理下各刈割强度下刈割2次补偿指数均有所降低。在施肥 $60\text{g}/\text{m}^2$ 和 $120\text{g}/\text{m}^2$ 的处理下各刈割强度下刈割2次的补偿指数均有所升高。因此,施肥大于 $60\text{g}/\text{m}^2$ 次刈割后植物群落的补偿效应明显增强。

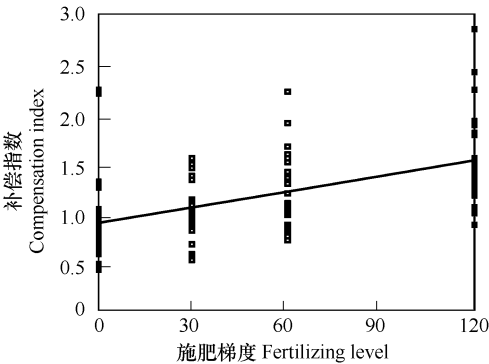


图1 施肥梯度和补偿指数之间的关系

Fig. 1 The relationship between fertilizing level and compensation index

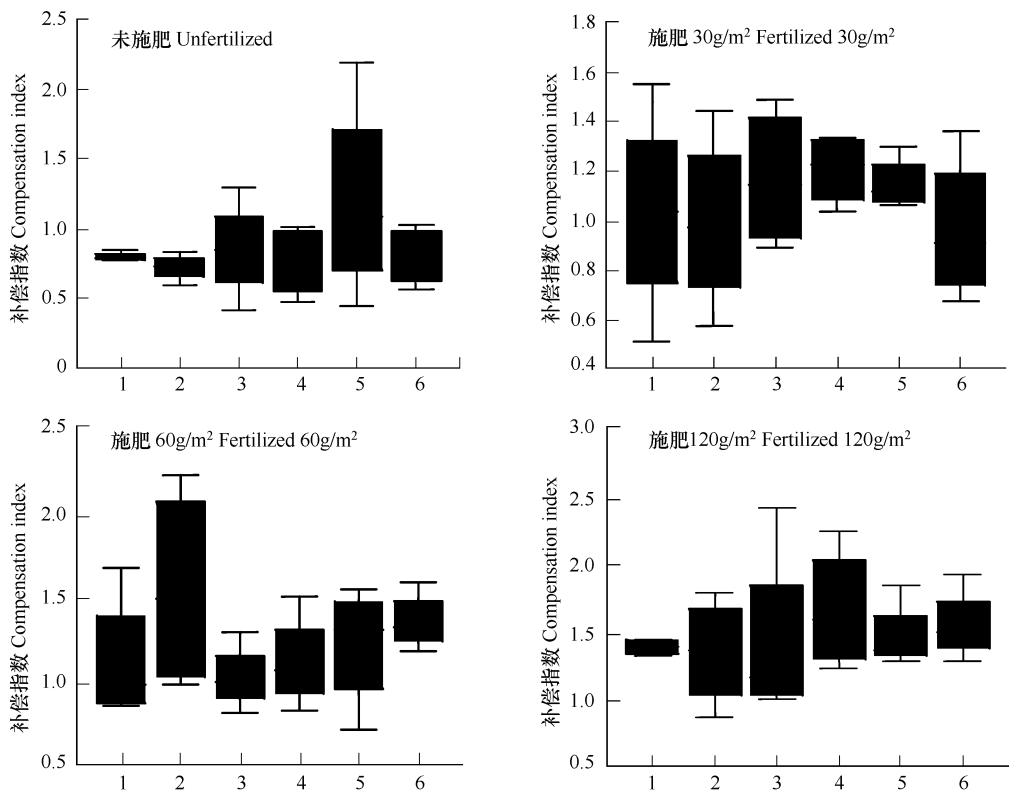


图2 刈割频度对群落补偿能力的影响

Fig. 2 The effects of mowing frequency on community compensatory responses

1. 重度刈割 1 次 Heavy 1 ; 2. 重度刈割 2 次 Heavy 2 ; 3. 中度刈割 1 次 Medium 1 ; 4. 中度刈割 2 次 Medium 2 ; 5. 轻度刈割 1 次 Light 1 ; 6. 轻度刈割 2 次 Light 2

4 讨论

施肥是增加草地生产力的一条重要途径,施肥可增加植物根系的数量^[19]。因此,植物地下竞争增强,并且施肥消除了资源的限制,优势种禾草在资源竞争中取得了优势,增强了地上的竞争优势(尤其是光竞争的优势)导致物种减少^[8]。施肥虽然可以在一定程度上增加草地群落的生物量,但是,施肥对草地群落生物量的影响是非线性的,而是存在一个阈值。然而,较高的多样性可提高群落抗干扰的能力,所以草地的可持续性发展依赖较高的植物多样性。可见,草地群落的多样性是保持草地稳定和健康发展的基础,施肥在提高草地生产力的同时,并不能维持较高的多样性。

植物的补偿作用除了与放牧刈割的时间、频度和强度有关之外,也与土壤营养状况有密切关系^[16]。随着施肥梯度的升高使植物群落补偿能力也相应的提高而导致了生物量随着施肥梯度的升高而增加。施肥后,植物群落更易发生超补偿,可见高寒草甸植物群落补偿能力受资源影响十分明显。这些试验结果都支持了刚开始的假设。说明资源与高寒草甸植物群落的补偿作用有密切关系。影响植物补偿能力还与植物被采食的强度有关^[4,8]。在轻度伤害的情况下植物补偿效应相对较大^[20],施肥条件下植物群落在刈割强度不同的情况下反应也不同。相比之下,高土壤营养条件下重度刈割植物群落的补偿能力较大,相同强度多次采食的补偿效应低于单次采食,相同强度不同频度的采食,植物的补偿效应也不同^[21]。4种施肥处理后,重度刈割多次的处理在高土壤营养的条件下,表现出更大的补偿能力。这些试验结果支持了进一步的假设。说明施肥提高植物群落的耐受性,提高植物群落的补偿能力,使其恢复生长,从而减少或消除刈割后带来的不利影响。

本试验只探讨了在生长旺季施肥梯度下不同刈割强度及频度对生物量及补偿作用的影响,没有考虑其他时期刈割的影响,一般认为采食时间与植物的物候期密切相关^[22,23]。综上所述,在考虑了资源、刈割强度和

频度的情况下,发现施肥和刈割对群落的生产力没有直观规律性影响。但是,从生产力角度讲,施肥和适度放牧均可提高高寒草甸植物群落的生产力。

References :

[1] Belsky A J *et al.* Overcompensation by plants herbivore optimization or red herring ? *Evolutionary Ecology* ,1993 7 :109 — 121.

[2] Zheng L ,Zhao S L. Primary study on over-compensation of spring wheat in semiarid area. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*. 1995 ,15 (8) : 15 — 19.

[3] Meijden ,Evander. Herbivory as a trigger for growth. *Functional Ecology* ,1990 4 :597 — 598.

[4] Bergelson J ,Crawley M J. Herbivory and Ipomopsis aggre2gata the disadvantages of being eaten. *American Naturalist* ,1992 ,139 :870 — 872.

[5] Hjalten J ,K. Danell. Effect of simulated herbivory and intraspecific competition on the compensatory ability of Birches. *Ecology* ,1993 ,74 :1136 — 1142.

[6] Yuan B Z ,Wang J. Plant compensation for animal herbivory factors affecting pant compensation. 1997 ,16 (6) :41 — 45.

[7] Miao S L ,Bazzaz F A. Responses to nutrientpulses of two colonizers requiring different distur2bance frequencies. *Ecology* ,1990 ,71 :2166 — 2178.

[8] Miao S L ,*et al.* Effects of maternal nutrient pulseon reproduction of two colonizing plantagi rspecies. *Ecology* ,1991 ,72 :586 — 596.

[9] Wang H Y ,Du G Z ,Ren J J. The impacts of population density and fertilization on compensatory respomses of elymus nutans to mowing. *Acta Phytoecologica Sinica* 2003 27 (4) :477 — 483.

[10] Bryan L F ,Katherine L. Gross species richness in a successional grassland :Effects of nitrogen enrichment and plant litter. *Ecology* ,1998 ,79 (8) :2593 — 2602.

[11] Maschinski J ,Whitham T G. The continuum ofplant responses to herbivory :the influence of plantassociation , nutrient availability and timing. *A m. Nat.* 1989 ,134 1 — 19.

[13] Du G Z ,Wang G. Succession and changes of grassland quality of the artificial grassland communities in subalpine meadow in gannan. *Acta Botanica Sinica*. 1995. 37 (4) :306 — 313.

[12] Hawkes C V ,Sullivan J J. The impact of herb ivory on plantsin different resource conditions a meta-analysis. *Ecology* 2001 82 :2045 — 2058.

[14] Poissonet J ,Thiault M ,Long G. Plant ecological survey of the grassland communities I . adaptation of the CEPE/CNRS methodologies to Inner Mongolia steppe vegetation. LiB . *Proceedings of the International Symposium onGrassland Vegetation*. Beijing :Science Press ,1987. 195 — 212.

[15] Belsky A J. Does herbivory benifit plants ?A review of the evidence. *Am. Nat.* ,1986. 127 :870 — 892.

[16] Gufu O ,Oler V ,Nils C. Relationships between biomass andplant species richness in aridzone grazing lands. *J. Appl. Ecol.* 2001 38 :836 — 845.

[17] Bakelaar R G ,Eugene O P. Community and population level responses to fertilization in an oldfield ecosystem. *Ecology* ,1978 59 (4) :660 — 665.

[18] Qiu B ,Luo Y J. Effects of fertilizer gradients on productivity and species diversityin a degraded alpine meadow. *Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition)* ,2004. 40 (3) :56 — 59.

[19] Guo K Z. The technique and economic benefits of comprehensive improvement on natual meadow. *Pratacultural Science* ,1996 ,13 (2) :24 — 28.

[20] Obeso J R. Effects of the defoliation and girdling on fruitproduction in Ilex aquiafolium. *Functional Ecology* ,1998 ,12 :486 — 491.

[21] Hang H K. Meadow of tending on the yield of saplum seblferum. *Guibaia* ,1988 8 (1) :101 — 104.

[22] Xia J X. Effect of grazing intensity on pasture structure and tissue turnover in a perennial ryegrass pasture ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,1995 6 (1) :23 — 28.

[23] Hik D S ,Jefferies R L. Increases in the netabove-ground primary production of a salt-marshforage grass :a test of the predictions of the herbi2vore optimization model. *J. Ecol* ,1990 ,78 :180 — 195.

参考文献 :

[2] 郑利 赵松龄. 半干旱区春小麦超补偿作用的初步研究. *西北植物学报* ,1995 ,15 (8) :15 ~ 19.

[3] 杜国祯 ,王刚. 甘南亚高山草甸人工草地的演替和质量变化. *植物学报* ,1995 37 (4) :306 ~ 313.

[6] 原保忠 ,王静 ,赵松龄. 植物受动物采食后的补偿作用影响——补偿作用的因素. *生态学杂志*. 1997 ,16 (6) :41 ~ 45.

[9] 王海洋 杜国祯 ,任金吉. 种群密度与施肥对垂穗刈割后补偿作用的影响. *植物生态学报* 2003 27 (4) :477 ~ 483.

[18] 邱波 罗燕江. 不同施肥梯度对甘南退化高寒草甸生产力物种多样性的影响. *兰州大学学报* 2004 40 (3) .

[19] 郭克贞. 改良退化天然草地综合技术经济效益研究. *草业科学* ,1996 ,13 (2) :24 ~ 28.

[21] 黄惠坤. 修剪强度对乌柏产量的影响. *广西植物* ,1988 8 (1) :101 ~ 104.

[22] 夏景新等. 多年生黑麦草草地生态系统中放牧强度对草地结构及组织转化的影响. *应用生态学报* ,1995 6 (1) :23 ~ 28.