

文章编号: 1000-4025(2004)10-1805-05

# 高寒草甸不同海拔梯度下多年生 黄帚橐吾的克隆生长特征<sup>\*</sup>

王长庭, 龙瑞军<sup>\*</sup>, 丁路明

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要:** 通过对多年生植物黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*)在四个不同海拔梯度下的克隆生长行为进行研究, 结果表明: (1) 资源水平(土壤养分)、干扰和群落性质影响间隔物(spacer)长度的变化。在第一和第四海拔梯度中(土壤养分较丰富)间隔物长度较短, 而在第二和第三海拔梯度中(土壤养分较贫乏)间隔物长度较长, 说明其能对资源水平和生境优劣作出反应。(2) 分枝强度(branching intensity)随资源水平的增加而上升。(3) 在高海拔、寒冷和资源较丰富的生境中, 其生物量的投资偏向于地下部分生物量, 说明黄帚橐吾的资源分配方式受到环境资源条件和群落性质的影响。

**关键词:** 黄帚橐吾; 克隆生长; 养分; 高寒草甸; 海拔梯度; 形态可塑性

中图分类号: Q 945.3 文献标识码: A

## Characteristics of clonal growth of *Ligularia virgaurea* to different elevation gradient on alpine meadow

WANG Chang-ting, LONG Rui-jun<sup>\*</sup>, DING Lu-ming

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

**Abstract:** The characteristics of clonal growth of perennial plant *Ligularia virgaurea* was studied in respect to four different elevation gradients. The results showed: (1) Spacer length was affected by resource levels (soil nutrition), disturbance and community characteristics. Spacer length was shorter in the first and fourth elevation gradient, but that was longer in the second and third elevation gradient. This showed that spacer length of *Ligularia virgaurea* was affected by resource levels and environmental condition. (2) Branching intensity increased with environmental resource levels. (3) Greater biomass allocation of *Ligularia virgaurea* to below-ground biomass in the condition where was colder, highly altitude and abundantly resource. This indicated that patterns of resource allocation of *Ligularia virgaurea* were also influenced by both environmental resource condition and community characteristics.

**Key words:** *Ligularia virgaurea*; clonal growth; nutrient; alpine meadow; altitude gradient; morphological plasticity foraging

在自然界, 植物的生境条件在时间和空间上都 是变化的。生境条件的空间异质性也表现为斑块性,

\* 收稿日期: 2003-12-15; 修改稿收到日期: 2004-04-07

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划项目(2001BA606A-02-03); 中国科学院资源与生态环境重点项目资助和中国科学院“百人计划”项目支持

作者简介: 王长庭(1969-), 男, 博士研究生, 畜牧师。主要从事恢复生态和动物营养学研究。E-mail: wcht6@hotmail.com

\* 通讯联系人。Correspondence to: LONG Rui-jun. E-mail: longruijun@sina.com.cn

即生境条件在斑块内是相对一致的,而在斑块间却有明显差异<sup>[1]</sup>,生境异质性在不同的生境类型中也非常不同。克隆生长能使植物个体通过自身一定的形态可塑性对周围的环境变化产生反应,从而使植物具有了相对移动伸展的能力,使之能对生境作出选择,植物觅食行为可凭借形态可塑性完成,所以与克隆分株放置相关的形状的可塑性在许多克隆植物觅食行为研究中成为重点<sup>[1-3]</sup>。由于植物的不均匀分布和微地形的差异,植物对土壤养分的局部性消耗和不均匀的土壤有机质分解过程使土壤养分的分布也具有斑块性<sup>[4]</sup>。

克隆植物的觅食行为特征是通过个体的生长习性随环境中的资源状况的变化来实现的,即在资源异质性条件下是否具有形态可塑性。目前研究中常用的形态学指标有间隔物(spacer)(联结相继摄食位点的横生结构)的长度、分枝强度(branching intensity)和分枝角度(branching angle)等。一般情况下,间隔物越短,分枝强度越大,分枝角度越小,摄食位点的密度就越大。许多实验研究表明,大多数克隆植物的分枝角度可塑性很低,分枝强度都无一例外地随资源水平的增高而增大。然而间隔物长短的可塑性在方向和程度上随种类不同变化很大:有的随资源水平的上升而增大,有的几乎对资源水平不发生反应;有的随资源水平的增高而减小。间隔物的长度影响克隆分株在空间的放置格局和必需资源的获取<sup>[2]</sup>。竞争(种内竞争和种间竞争)是塑造植物形态、生活史以及植物群落结构和动态的主要动力之一<sup>[5]</sup>。当然生境中的其它因素(如植物群落特征和土壤养分等)同样也影响着植物的生长、生存和繁育。研究不同生境下的克隆植物生长繁殖和形态特征,有助于理解克隆植物赖以生存的形态可塑性的多样性<sup>[2]</sup>。因此,在野外条件下直接观察植物在不同小生境下克隆构型(architecture of clonal plant)的可塑性、植物群落结构特征和生物量的分配特征,探索其对异质性资源的利用和适应对策,是理论研究和指导生产实践所必需的。

青藏高原高寒草甸大部分植物具有无性繁殖能力。其中多年生草本植物黄帚橐吾(*Ligularia virgaurea*),在放牧压力较重的环境下,这种植物迅速扩散,已成为高寒草甸占优势的物种之一<sup>[6]</sup>。本实验通过对黄帚橐吾在不同海拔梯度中,比较和分析了它在不同土壤环境条件下的觅食行为(foraging behavior)以及在生物量投资上的差异,探讨和说明导致形态特性差异的原因。

## 1 研究地区与方法

### 1.1 研究地区概况

研究地区位于青海省果洛州玛沁县境内,地处青藏高原腹地,33°43'~35°16'N, 98°48'~100°35'E。该地区属高原寒冷气候,平均海拔4 000 m以上,年平均降水542.1 mm,5~9月降水445 mm。年平均气温-2.3℃,10月积温为914.3℃,日照时数2 450.8 h。植被类型丰富多样,其中高寒嵩草草甸类型占优势。主要优势种有小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、线叶嵩草(*K. capillifolia*)、藏嵩草(*K. tibetica*)等,主要伴生种有异针茅(*Stipa aliena*)、羊茅(*Festuca ovina*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、双叉细柄茅(*Ptilagrostis dichotoma*)等。土壤类型以高山草甸土、高山灌丛草甸土、草甸沼泽土为主。

### 1.2 供试种

黄帚橐吾是青藏高原高寒草甸中常见的一种多年生菊科植物。黄帚橐吾的生活周期较长,有漫长的花前营养生长阶段,一般为3~6 a,此时的植物地上部分无茎,仅有2~4枚叶片,每个生长季节以根系贮藏的物质越冬。黄帚橐吾除了能产生种子进行有性繁殖外,根茎处还能产生横走根状茎,进行克隆生长。根茎一般埋深2~5 cm,白色,脆嫩,最长可达50 cm左右,是典型的游击型(guerilla)克隆生长植物<sup>[6]</sup>。

### 1.3 试验设计

本试验于2002年7月底在青海省果洛州玛沁县国家“十五”科技攻关示范区进行。高寒草甸区从最低处到山顶的垂直剖面上每1 000 m左右选择植被均匀分布的地段设置一个样地作为一个梯度,共4个梯度(第一梯度海拔为3 856 m;第二梯度海拔为3 927 m;第三梯度海拔为3 988 m;第四梯度海拔为4 232 m)。每一梯度在约为50 m×50 m的样地上随机设置3个50 cm×50 cm的样方,先登记样方中所有植物的盖度、高度,并齐地面剪下装袋,以测定生物量。然后,将样方内的黄帚橐吾连根挖出。挖取时,根据根的大小及根茎的长短,以植株为中心,挖取半径为20 cm左右,深度约为30 cm的土块,避免根茎的断损。用清水将土冲洗干净并剔除枯死部分,在烘箱烘干至恒重。测定项目有植株总高、地上部分高度、地上生物量、根系的长度、地下部分生物量、叶片数等,对有根茎的植株,测定其节间长度、节数等。

总生物量包括地上部分生物量和地下部分生物量, 地上部分生物量为叶重和茎重; 地下部分生物量为基株地下根系及与分株相连的横生结构; 地上部分生物量投资为地上部分生物量/总生物量, 地下部分生物量投资为地下部分生物量/总生物量。所收集的样本(地上生物量、地下部分生物量)在烘箱内用 80 °C 恒温连续烘干 24 h 后称重。

土壤温度用点温计测定地表、10 cm、20 cm、30 cm 的地温。近地表层(0~ 10 cm、10~ 20 cm、20~ 30 cm)的含水量用土钻法取土并称鲜重, 然后在 105

的烘箱内烘干至恒重并称重, 计算出土壤含水量。

用土钻(直径为 4 cm)分别在 5 个样点随机分层采集 0~ 10 cm, 10~ 20 cm, 20~ 30 cm 的土壤样品, 3 次重复, 混合后风干待测。测试项目为土壤样品的全 P (钼锑抗比色法)、速效 P (碳酸氢钠法)、全 N 和速效 N (凯氏定氮法和康维皿法)、及有机质含量(重铬酸钾硫酸溶液氧化法)(由中国科学院兰州分院分析测试中心生物化学分析测试部)。有关数据采用 SPSS 统计软件进行分析。

表 1 不同海拔梯度植物群落类型的特征比较(样方大小为 0.25 m<sup>2</sup>)

Table 1 The characteristic comparison of plant communities in different elevation gradient (Sample size was 0.25 m<sup>2</sup>)

	第一梯度 First gradient	第二梯度 Second gradient	第三梯度 Third gradient	第四梯度 Fourth gradient
种数 Number of species	18	16	20	24
盖度* Coverage (%)	78.57	68.70	95.87	104.43
高度 Height (cm)	0.5~ 27	0.5~ 36	0.2~ 22	0.2~ 16.4
密度** Density (n)	44	48	28	26
生物量 Biomass (g)	69.56	60.25	57.56	56.26
黄帚囊吾重要值 Important value of <i>L. virgaurea</i>	20.90	24.48	16.75	10.78

注: \*: 样方内所有种的盖度之和; \*\*: 样方内黄帚囊吾的个体数。

Notes: \*: The coverage sum of all species in sample; \*\*: The numbers of *Ligularia virgaurea* in sample.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海拔梯度下土壤养分和环境因子特征

不同海拔梯度下, 土壤有机质、土壤全氮、土壤全磷、土壤速效氮和土壤含水量均在海拔最高处即第四梯度(海拔高度为 4 232 m)最高(表 2)。第四梯

度由于海拔高, 气温低, 冬季常有积雪, 空气湿度大, 因而土壤含水量较大。土壤湿度大, 水分充塞了绝大部分土壤孔隙, 使通气受阻, 有机质的矿化率低, 故有利于有机质的积累和保存<sup>[7]</sup>。而土壤温度则随海拔的升高而逐渐降低。

表 2 不同海拔梯度下高寒草甸土壤的有机质、全 N 含量、全 P 含量、土壤速效氮、土壤速效磷、土壤温度和土壤含水量

Table 2 The contents of soil total N, P and soil organic matter, soil available N, soil available P, soil temperature and soil moisture of elevation gradients in alpine meadow

项目 Item	土壤有机质 Soil organic matter (%)	土壤全 N Soil total N (%)	土壤全 P Soil total P (%)	土壤速效 N Soil available N (mg/kg)	土壤速效 P Soil available P (mg/kg)	土壤含水量 Soil moisture content (%)	土壤温度 Soil temperature (°C)
No. 1	7.45	0.30	0.12	16.00	4.13	28.10	12.32
No. 2	7.01	0.18	0.10	10.00	3.47	18.49	11.69
No. 3	7.89	0.22	0.11	22.00	4.40	30.76	10.50
No. 4	10.32	0.44	0.17	28.00	3.40	53.46	9.21

注: No. 1~ No. 4: 第一梯度~ 第四梯度

Note: No. 1~ No. 4: First gradient to fourth gradient

### 2.2 不同海拔梯度下黄帚囊吾克隆生长特征

表 3 中详细列出了不同海拔环境梯度下黄帚囊吾克隆生长的形态学特征。根据表 3 可知, 无论是叶长与根长、叶数与根数和叶重与根重, 其数据基本上是在第二梯度(海拔为 3 927 m)较高, 特别是第二梯

度的叶长、叶数、根数、叶重、根重与第四梯度之间均有显著差异( $P < 0.05$ )。从第二梯度植物群落特征来看, 黄帚囊吾的重要值最大为 24.48, 第一、三、四梯度分别为 20.90、16.75、10.78(表 1), 黄帚囊吾在第二梯度中, 单位面积内植株密度为 48, 相对于其它梯

度植株密度较大。

表 3 黄帚囊吾在不同海拔梯度生境下的克隆生长特征

Table 3 The clonal growth characteristics of *Ligularia virgaurea* in different habitats

	第一梯度 First gradient	第二梯度 Second gradient	第三梯度 Third gradient	第四梯度 Fourth gradient
根数 Root number	19.13 ± 2.02 <sup>b</sup>	24.40 ± 2.62 <sup>a</sup>	18.58 ± 2.08 <sup>bc</sup>	14.45 ± 1.90 <sup>c</sup>
叶重 Leaf weight(g)	7.05 ± 0.25 <sup>bd</sup>	14.61 ± 1.91 <sup>a</sup>	9.04 ± 0.96 <sup>b</sup>	2.15 ± 0.33 <sup>c</sup>
根重 Root weight(g)	5.29 ± 0.22 <sup>b</sup>	8.76 ± 1.52 <sup>a</sup>	5.27 ± 0.66 <sup>b</sup>	4.88 ± 0.29 <sup>b</sup>
节间长度 Internode length (cm)	3.69 ± 0.27 <sup>ab</sup>	4.07 ± 0.32 <sup>a</sup>	4.03 ± 0.23 <sup>a</sup>	3.07 ± 0.15 <sup>b</sup>
分枝强度 Branching intensity(g)	0.0273 ± 0.0032 <sup>ab</sup>	0.02 ± 0.0031 <sup>b</sup>	0.0203 ± 0.0012 <sup>b</sup>	0.033 ± 0.0022 <sup>a</sup>
总生物量 Total biomass(g)	14.57 ± 0.067 <sup>bc</sup>	25.60 ± 3.43 <sup>a</sup>	16.55 ± 1.50 <sup>b</sup>	9.27 ± 0.53 <sup>c</sup>
地上部分生物量 Above-ground biomass(g)	9.26 ± 0.25 <sup>b</sup>	16.82 ± 1.91 <sup>a</sup>	11.25 ± 0.96 <sup>b</sup>	4.36 ± 0.33 <sup>c</sup>
地上部分生物量投资(%) Above-ground biomass allocation	55.95 ± 1.38 <sup>b</sup>	61.19 ± 0.77 <sup>a</sup>	60.72 ± 1.72 <sup>a</sup>	38.72 ± 1.73 <sup>c</sup>
地下部分生物量 Below-ground biomass(g)	5.31 ± 0.22 <sup>b</sup>	8.78 ± 1.53 <sup>a</sup>	5.30 ± 0.66 <sup>b</sup>	4.91 ± 0.29 <sup>b</sup>
地下部分生物量投资(%) Below-ground biomass allocation	36.45 ± 0.016 <sup>b</sup>	33.87 ± 0.016 <sup>c</sup>	31.97 ± 0.019 <sup>c</sup>	53.03 ± 0.019 <sup>a</sup>

注:表中数据为平均值 ± 标准误。同一行中具有相同字母的处理没有达到显著性差异 ( $P > 0.05$ )

Notes: Data of the table represent mean ± standard error. Treatment with the same letters are not significantly ( $P > 0.05$ ) in the same line

节间长度在第二梯度与第四梯度、第三梯度与第四梯度之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。第一梯度、第四梯度土壤有机质和土壤全氮含量较第二梯度、第三梯度高(表 2)。表现出在土壤资源较丰富的环境中,节间长度较短;而资源较贫乏的环境中,节间长度较长,即随资源水平的增加而减少。

分枝强度在第二梯度与第四梯度、第三梯度与第四梯度之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。即在第一梯度与第四梯度资源较为丰富,分枝强度较大;第二梯度与第三梯度资源相对缺乏,分枝强度较小,表现出随着资源水平的逐渐增高,分枝强度逐渐增大。

### 2.3 不同海拔梯度环境中黄帚囊吾的生物量投资

从表 3 可知,海拔最高的第四梯度其地上部分生物量/总生物量之比明显小于其它三个海拔梯度 ( $P < 0.05$ )。而第四梯度的地下部分生物量/总生物量比明显高于其它三个海拔梯度 ( $P < 0.05$ )。这说明海拔低的生境中,人为干扰(特别是放牧干扰),加之家畜的选择性采食,使得优良牧草的种群受到抑制,黄帚囊吾等毒杂草的种群迅速扩散,因而其竞争共同资源的能力增强,表现为生物量的投资偏向于地上部分。相反,海拔高的生境中(第四梯度),虽然放牧压力较海拔低的小,但随着海拔的升高,温度较低,为了降低整个基株的死亡风险,植物通过从土壤环境中吸取更多的养分,增大地下部分生物量的投资,使地下部分获得足够的温度,抵御寒冷环境带来的不利影响,因而才能确保其安全越冬,保证翌年植

株按时返青。因而其生物量的投资明显偏向于对地下部分(根系)的投资,这也显示了高寒草甸植物对严酷的生态环境的适应性。

## 3 讨论

克隆整合性可能具有生态适应意义<sup>[18]</sup>。它使处于某一小生境内的克隆分株不仅对其所处的小生境条件产生表型可塑性反应(局部反应),而且可以对其相连的克隆部分或分株所处的小生境条件发生(非局部)反应,这两种反应共同影响着克隆植物的表现型<sup>[9]</sup>。克隆植物的双构件性赋予它比非克隆植物更广泛的表型可塑性,即由环境引起的表型改变<sup>[2]</sup>。克隆分株本身的许多性能对环境条件的改变发生反应<sup>[2]</sup>。研究还发现,克隆植物的许多性状对基质养分条件的差异表现出一定的可塑性<sup>[2,6]</sup>。本研究表明,不同海拔梯度下养分条件有差异的高寒草甸土壤中(表 2)黄帚囊吾也存在着许多表型的可塑性。

克隆植物间隔子随资源水平的变化而出现种间差异,如毛茛科的 *Ranunculus repens*<sup>[10]</sup>对基质养分条件不发生反应;有些克隆植物在养分较高的条件下形成较长的间隔子,如豆科的 *Trifolium repens*<sup>[11]</sup>、禾本科的 *Cynodon dactylon*<sup>[12]</sup>等。本实验结果看出,黄帚囊吾在海拔较高(第四梯度)和较低(第一梯度)的环境中,土壤养分资源较为丰富,其间隔子较短,而中间(第二、三梯度)海拔中,土壤养分资源较贫乏,其间隔子较长。这一结果与黄帚囊吾<sup>[6]</sup>

在较高的养分条件下产生较短的间隔子的研究结果相似。间隔子长度增加有利于减低不利环境的影响, 有利于基株拓展新的领域, 是获取资源的一种生态对策<sup>[13]</sup>。

黄芩囊吾在生物量的投资分配上也表现出明显的差异。在第四梯度环境条件下, 地下部分生物量在总生物量中的投资明显高于其它三个梯度中投资比例。与之相反, 在第四梯度环境条件下, 地上部分生物量在总生物量中的投资明显低于其他三个梯度中的投资比例(表 3)。

克隆器官(如根状茎)具有相当大的储藏功能。这一方面使克隆植物在资源供给丰富时可将多余的资源储藏起来; 另一方面, 分株地上枝叶死亡之后仍可存活很久的地下茎及其所附着的根系能继续行使对地下资源的获取, 维持整个基株的生长<sup>[2]</sup>。在高海拔寒冷环境中, 克隆植物通过增加地下部分生物量在总生物量中的比例, 才有可能使其在一个比较大的面积内收集地下资源(土壤养分)供给具有枝叶的分株, 或许通过增大地下部分生物量的投资, 使地下部分获得足够的温度, 抵御寒冷环境带来的不利影响, 因而才能确保其安全越冬, 保证翌年植株按时返青, 从而降低整个基株的死亡风险。应当注意的是, 第一和第四海拔梯度中, 黄芩囊吾的间隔子变短, 分

枝强度增强, 除了受土壤养分的变化影响外, 是不是同时也受土壤温度和土壤水分变化的影响, 其中哪一个的作用更强, 尚需进一步研究。

植物分布丰度的变化决定个体的适合度变化, 也即局部生存环境对植物生活史改变有着直接的影响。竞争是塑造植物形态、生活史以及植物群落结构和功能的主要动力之一<sup>[5]</sup>。群落的种群组成、数量、盖度等特征影响着黄芩囊吾无性系的克隆生长行为及其形态特征, 人为干扰可能改变群落的物理环境, 也可能改变群落的物种组成<sup>[14]</sup>。放牧对于草原群落的影响与放牧强度有关<sup>[15]</sup>, 轻牧、中牧下群落物种组成和生产力基本维持稳定, 重牧则可使群落物种组成减少, 毒杂草成为优势种。嵩草草甸四个不同海拔梯度小生境的差异, 包括生物因素和非生物因素, 导致了黄芩囊吾无性系各构件在种群水平上的差异, 总之, 第一和第四海拔梯度内黄芩囊吾无性系的形态可塑性相对于第二和第三海拔梯度黄芩囊吾无性系的形态可塑性较显著, 黄芩囊吾的这种通过在不同海拔梯度生境下表现出的形态可塑性和构件差异来克服由必需资源分布异质性带来的摄取困难, 使其所表现出来的形态可塑性与四种小生境的资源状况相适应, 从而维持了在不同生境下黄芩囊吾个体的适合度。

## 参考文献

- [1] DONG GM (董 鸣). Clonal growth in plants in relation to resource heterogeneity: foraging behavior[J]. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1996, 38 (10): 828- 835 (in Chinese).
- [2] DONG GM (董 鸣). Plant clonal growth in heterogeneous habitats: risk-spreading[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1996, 20 (6) 543- 548 (in Chinese).
- [3] Cain M L. Models of clonal growth in *Solidago altissima*[J]. *Journal of Ecology*, 1990, 78: 27- 46
- [4] Harper J L. Modules, branches and the capture of resources[A]. In: Jackson J B C, Buss L W, Cook R E eds. Population biology and evolution of clonal organism [M]. New Haven: Yale University Press, 1985, 1- 33
- [5] LI B (李 博), CHEN J K (陈家宽), A R 沃金森. A literature review on plant competition[J]. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1998, 4: 1- 11 (in Chinese).
- [6] SHAN B Q (单保庆), DU G ZH (杜国祯), LIU ZH H (刘振恒). Clonal growth of *Ligularia virgaurea*: morphological responses to nutritional variation[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2000, 24(1): 46- 51 (in Chinese).
- [7] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 36- 190
- [8] Vans J P. The effect of local resource availability and clonal integration on ramet functional morphology in *Hydrocotyle bonariensis*[J]. *Oecologia*, 1992, 89: 265- 276
- [9] DONG GM. Morphological responses to local light conditions of clonal herbs from contrasting habitats, and their modification due to physiological integration[J]. *Oecologia*, 1995, 101: 282- 288
- [10] Lovett D L. Population dynamics and local specialization in a clonal perennial (*Ranunculus repens*) III Responses to light and nutrient supply[J]. *Journal of Ecology*, 1987, 75: 555- 568
- [11] SACKVILLE H N R. Variation and adaptation in wild population of white clover (*Trifolium repens*) in East Anglia[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1982
- [12] DONG GM, KROON H. Plasticities in morphology and biomass allocation in *Cynodon dactylon*, a grass species forming stolons and rhizomes[J]. *Oikos*, 1994, 70: 99- 106
- [13] ZHONG ZH CH (钟章成). Plant population reproductive strategy[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 1995, 14: 37- 42 (in Chinese).
- [14] FU B J (傅伯杰), CHEN L D (陈利顶). Ecological significance of disturbance[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1998, 18(3): 351- 356 (in Chinese).
- [15] WANG SH P (汪诗平), LI Y H (李永宏), WANG Y F (王艳芬), CHEN Z ZH (陈佐忠). The influence of different stocking rates on herbage regrowth and aboveground net primary production[J]. *Acta Agraria Sinica* (草地学报), 1998, 4: 275- 281 (in Chinese).