

文章编号: 1007-0435(2006)01-0072-05

高寒金露梅灌丛生物量及年周转量

李英年¹, 赵亮¹, 王勤学², 杜明远³, 古松¹, 徐世晓¹, 张发伟^{1,4}, 赵新全¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2 日本国立环境研究所, 日本 筑波 305-0053;

3 日本农业环境技术研究所, 日本 筑波 305-8604; 4 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 采用样方调查与挖掘相结合的方法, 以金露梅(*Potentilla fruticosa*) 灌丛多年累积枝干、地下生物量和当年新生枝叶量及6-9月冠面长度、宽度和高度为参数进行线性回归分析, 结合金露梅灌丛与草本植物在样地所占比例, 估算其年净初级生产量及年净固碳量。结果表明: 2004年金露梅灌丛地下实际周转量为 53.7 g/m^2 , 周转率为26%; 当年新生枝叶量为 41.0 g/m^2 , 年净初级生产量 94.7 g/m^2 ; 以草本植物与金露梅灌丛在样地所占比例为60%和40%进行估算, 2004年金露梅灌丛草甸总净初级生产量为 858.3 g/m^2 , 固碳量 481.9 g/m^2 。

关键词: 金露梅灌丛; 地上生物量; 地下生物量; 当年新生枝叶量; 年周转量; 固碳量

中图分类号: S813 文献标识码: A

Estimation of Biomass and Annual Turnover Quantities of *Potentilla Fruticosa* Shrub

LI Ying-nian¹, ZHAO Liang¹, WANG Qin-xue², DU Ming-yuan³, GU Song¹,
XU Shi-xiao¹, ZHANG Fa-wei^{1,4}, ZHAO Xin-quan¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining, Qinghai Province 830001, China;

2 National Institute for Environmental Studies, 305-0053, Japan;

3 National Institute for Agro-Environmental Science, 305-8604, Japan;

4 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: The annual net primary productivity and carbon content of the *Potentilla fruticosa* shrub were assessed by combining sample plot investigation and unearthed *P. fruticosa* plants measurement, and also by analyzing with linear regression equation the shrub's accumulated stem biomass, the below ground and the newly growing aboveground biomass which consisted of the length, width and height of the shrub canopy from June to September of the year, as well as the proportion of *Potentilla fruticosa* shrub and herbaceous plants in the sample plots. Results show that the actual quantity of *P. fruticosa* woody plants' below ground biomass turnover amounted to 53.7 g/m^2 , a turnover rate of 26%, in the year 2004, while the newly growing aboveground biomass reached 41.0 g/m^2 , and the net primary production, 94.7 g/m^2 . Based on the proportion of the herbaceous plants being 60% and of the *Potentilla fruticosa* woody plants, 40%, in the sample plot, the total annual net primary productivity of *Potentilla fruticosa* shrub measured up to 858.3 g/m^2 , which converted into carbon would be 481.9 g/m^2 .

Key words: *Potentilla fruticosa* Shrub; Aboveground accumulation biomass; Below ground biomass; Newly growing aboveground biomass of the year; Annual turnover quantity; Fixed carbon content

收稿日期: 2005-03-16; 修回日期: 2005-12-12

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-01A); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412501); 中日合作“温带高山草原生态系统的碳素动态和温暖化影响的研究”、“亚太地区环境创新战略计划(APEIS)”项目

作者简介: 李英年, (1962-), 男, 副研究员, 青海乐都人, 主要从事生物气象、全球变化研究工作, E-mail: ynli@nwipb.ac.cn

金露梅(*Potentilla fruticosa*)系蔷薇科委陵菜属植物,是寒温带多年生落叶灌木的典型植物之一,广布于我国东北、华北、西北、西南的高山地区,在朝鲜、蒙古和俄罗斯的西伯利亚亦有分布^[1]。在青藏高原,多分布在东部海拔2700~4500 m的山地阴坡,土壤湿度较高的平缓滩地,以及地下水位较高的河谷阶地。表现有明显的地带性分布规律。金露梅灌丛草甸在青藏高原分布面积仅次于高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)草甸。据调查^[1-3],金露梅灌丛草甸植物群落结构简单,但植物种类丰富,生物生产力高,是良好的夏季放牧草场。过去,对青藏高原金露梅灌丛草甸的生物生产力变化特征等方面有较多的研究报道^[1-3],但对地下生物量的年周转量等报道的不多,特别是对于金露梅木本部分的生物量报道的不够全面^[2]。为配合利用涡度相关法对金露梅灌丛草甸碳通量进行长期定位观测的研究,2002年开始进行了金露梅灌丛草甸的地上、地下生物量的测定。测定中发现,因草本植物根系与金露梅灌丛的木本根系交织一起,地上、地下生物量测定工作复杂困难,观测结果也极不稳定。因而难以对金露梅灌丛草甸实际根系增长量进行估测。鉴于此,于2004年将木本灌丛与草本植物分别处理,按所占比例的方法评估地上和地下实际(特别是当年新增)生产量,为高寒草甸生态系统的碳收支研究提供基本数据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)东北7 km处的金露梅灌丛草甸进行。地处青藏高原东北隅的青海海北藏族自治州门源回族自治县境内(37°29'~37°45'N, 101°12'~101°23'E),地形开阔,海拔3200~3600 m。属高原大陆性气候,气温较低,只有冷暖二季,干湿季分明。年均气温-2℃。年均降水量620 mm,主要集中在5~9月。无绝对无霜期,在7月仍可出现霜冻、结冰、降雪(雨夹雪)等天气现象^[4]。牧草低矮,群落结构简单^[4-6]。土壤为暗沃寒冻锥形土(*Mollic Cryic Cambisols*),土壤发育年轻,土层浅薄,有机质含量较高^[7]。

金露梅灌丛株高在30~40 cm,最高达60 cm。调查地段有植物47种,隶属15科37属,总盖度91%,草高8~16 cm。优势种有藏异燕麦(*Helyctotrichon tibeticum*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*),次优势种有异针茅(*Stipa aliena*)、羊茅(*Festuca ovina*)、紫羊茅(*Festuca rubra*)、线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*),伴生种有柔软紫菀(*Aster flaccidus*)、山地早熟禾(*Poa*

arinosa)、棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)、瑞苓草(*Saussurea nigrescens*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、尖叶龙胆(*Gentiana aristata*)、糙毛野青茅(*Deeyeuxia arundinacea*)、花苜蓿(*Trigonella ruthenica*)、圆萼摩苓草(*Morina chinensis*)等。

1.2 生物量和环境要素测定

1.2.1 2003年9月10日进行3个样方(10×10 m)共计300 m²的调查,测量金露梅灌丛冠面最大长度、最小宽度和最大高度,共调查1159丛。

1.2.2 2004年6月到9月,每月15日,在该300 m²的样地,对单株和金露梅灌丛进行挖掘,挖掘前测量金露梅灌丛冠面最大长度、最小宽度和最大高度。

1.2.3 挖掘后按当年新生枝叶、多年累积枝秆、地下等各部位分离后分别装入纸袋,地下部用水冲洗后,置于恒温65℃的烘箱连续进行烘干至恒重后,称重。

1.2.4 在每月挖掘测定金露梅灌丛各部位生物量的同时,测定草本植物地上、地下生物量。测定时,避开金露梅随机选择6个50×50 cm的样方,用剪刀齐地面剪下装入纸袋。地下生物量在取过地上生物量50×50 cm的样方内再随机选择25×25 cm的二级样方3个,垂直按0~10、10~20和20~40 cm三个层次,用铁铲和切刀分层取出,过筛后选出草根装入布袋,洗净后在恒温65℃的烘箱烘干至恒重后称重,所有重量单位取g/m²。

1.2.5 在进行生物量测定的实验区,架设有涡度相关通量观测系统一套,除观测CO₂通量、辐射、水热量通量外,也同时观测包括温度、湿度(土壤、大气)等在内的有关微气象数据的监测。

1.3 金露梅灌丛草甸当年净初级生产量的估算

以挖掘金露梅灌丛的各部位生物量,分别建立与冠面最大长度、最小宽度和最大高度在不同季节的线性回归方程,再利用调查灌丛的基本参数,进行单位面积金露梅灌丛各部位生物量的估算。回归方程形式为:

$$W_{ij} = e^{a \cdot \ln(A \cdot B \cdot H) + b}$$

其中:A、B、H分别为每丛金露梅冠面最大长度、最小宽度和最大高度;a、b为回归系数;W_{ij}(i=1,2,3)分别为金露梅灌丛地上多年累积枝干生物量、地下生物量、当年新生枝叶量,j为月份。

利用上述观测和估算结果,分别对金露梅和草本植物地下当年新增生物量(净周转量)进行计算,得出草本植物和金露梅灌丛年净生产量。再在涡度相关法塔附近2 km²范围内以人为目测的方式估测金露梅灌丛和草本植物各占研究区域内的比例,最后按该比例计算得到整个金露梅灌丛草甸当年净初级生产量。

2 结果与分析

2.1 估算方程的建立与检验

依每月15日所挖掘分检的样本重量,建立月际各部位生物量与冠面最大长度(A)、最小宽度(B)和最大高度(H)的回归方程: $W_{ij} = e^{a \ln(A \cdot B \cdot H) + b}$, 有关参数见表1

表1 金露梅灌丛各部位生物量与冠面最大长度、最小宽度和最大高度回归检验

Table 1 Regression equation of *Potentilla fruticosa* shrub's biomass of different parts with maximum length of canopy area, minimum width in each clump, and maximum height

| 日期(日/月) | 15/6 | | | 15/7 | | | 15/8 | | | 15/9 | | |
|-----------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|
| Data(day/month) | 15/June | | | 15/July | | | 15/Aug | | | 15/Sept | | |
| 参数 Parameter | A | b | r | a | b | R | a | b | R | a | b | R |
| AA | 0.7173 | -3.5407 | 0.9751 | 0.8204 | -4.9218 | 0.9584 | 0.9123 | -6.0359 | 0.9125 | 0.7055 | -3.5683 | 0.9344 |
| BA | 0.6556 | -2.9007 | 0.9545 | 0.6755 | -3.2499 | 0.8642 | 0.9090 | -5.9483 | 0.8688 | 0.8425 | -4.9143 | 0.9268 |
| NAB | 0.6036 | -4.6223 | 0.9537 | 0.6492 | -4.2417 | 0.9003 | 0.7501 | -5.4404 | 0.9369 | 0.5282 | -0.2621 | 0.8451 |

注: AA—地上多年累积生物量; BA—地下生物量; NAB—当年新生枝叶量

Note: AA—Aboveground accumulation biomass; BA—Below ground biomass; NAB—Newly growing aboveground biomass

2.2 金露梅灌丛地上地下生物量的季节变化

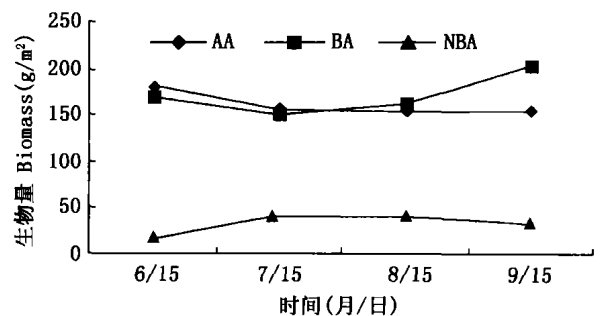
依表1有关方程联系 $10 \times 10 \text{ m}$ 的3个样方,共 300 m^2 中灌丛数1159组数据的灌丛顶部冠面最大长度、最小宽度和最大高度的测定结果,进行单位面积上金露梅灌丛生物量的估算,其结果见图1。

因金露梅灌丛枝叶生长展开及开花时间较晚,衰老也迅速,一般在6月初以前新增枝叶几乎没有,6月上旬后期才有所发育,进入9月下旬,枝叶开始枯黄并有大量的花、叶凋落至地表,故我们所作的观测也就取自6月15日开始到9月15日共4个月时间每月15日左右的3d内进行。也就是说,这里研究的季节变化指高寒植物生长期的6到9月。图1看到,金露梅灌丛各部位生物量均有一定的季节性变化。多年累计枝杆生物量除6月高(182.0 g/m^2)外,7、8、9月处在同一水平,保持在 $154.2 \sim 154.9 \text{ g/m}^2$ 之间。多年累计枝条生物量的这种变化合乎金露梅灌丛生长极为缓慢,在较长时间的尺度上,甚至几十年的时间尺度上,生长变化很小的一般规律。在十几年以内的尺度上来讲,其高度几乎没有变化,因而在同一年的变化中基本处于相同水平是可以理解的。但6月出现较高的原因也许与金露梅在生长过程中与冬春季节交换时地上地下物质能量分配不同有关,也许与观测结果有误有关,具体等待进一步观察和分析。要说地上生物量有变化,主要还是表现在新生枝叶的生物量上。

6月上中旬前,环境条件仍然恶劣,气温较低,金露梅灌丛萌发新生枝叶(叶鞘)所在的高度离地面较高,该高度处温度比地表更低(图2)。该时期,新生枝叶处在刚萌发阶段,生物量极低。6月上中旬以后随气温继续升高,金露梅灌丛处于叶片展开,才有新生枝叶

表1(样本数为15)。每月回归方程的相关系数均在0.8450以上,呈极显著相关($P < 0.01$)。可以认为,采用金露梅灌丛冠面最大长度、最小宽度和最大高度(包括多年累积高度)的测定值估测地上、地下及当年新增枝叶量是可行的。

的生长,生物量逐渐加大,并迅速进入开花时期。到7月达最高(达 41.0 g/m^2)。因金露梅植物其本身所特有的开花早、成熟早、衰老也早等生理生态特征,开花后不到几天就凋落至地面。当部分花果凋落至地表时,其叶片也亦受外界环境干扰,如遇稍干燥的天气或较大的风速或早晨遇低温天气(8月也出现低于0的气温)等,易凋落,这种情况导致新生枝叶的生物量在8月开始就下降了,到9月下降到 32.8 g/m^2 的水平。



AA—地上多年累积生物量(Aboveground accumulation biomass);

BA—地下生物量(Below ground biomass);

NAB—当年新生枝叶量(New growth aboveground biomass)

图1 金露梅灌丛各部位生物量6~9月的季节变化

Fig. 1 Seasonal changes of *Potentilla fruticosa* shrub biomass of different parts from June to September

地下生物量与新生枝叶量刚好呈现相反的变化,地下生物量自6到9月基本呈现出“U”型变化结构,6、7、8、9月分别为 168.8 、 149.8 、 161.7 和 203.4 g/m^2 。如前所述,在6月初受环境条件的限制,枝叶不易生长,土壤自4月下旬开始融化到6月初融化至 100 cm 以下,温度特别是近地表面层的气温(图2)和地温

均较高,有利的融冻水和较高的土壤温度对地下根系生长提供保障,地下根茎处于营养生长阶段,地下生物量得以提高。随时间进程延长地上新生枝叶生长,地下根系部分的营养物质转至地上,地下部分消耗明显,少部分被寒冷冬季冻伤的部分根系枯萎、腐烂,被微生物分解等,导致地下根系生物量降低,至 7 月中旬达最低;8 月以后,随金露梅地上部叶片及花卉成熟并有部分凋落于地表,地上部分生物量不再积累,大量的光合产物开始向地下运转,供给根系的生长发育,新根、根茎不断增加,地下生物量随之增加;随 9 月到来植株叶、果实基本均凋落至地面,此时地下生物量达最高,为越冬和翌年生长做准备。

若对 3 种不同部位生物量(W)进行与 6 到 9 月时间(x)模拟,表现有明显的抛物线性的变化规律(表 2)。表 2 看到,虽然所取的样本数(所测定的次数)较少,这样进行线性处理有所牵强,但从较高的相关系数看到,

均表现有显著性的检验水平,也可表明了其生物量在生长季节的变化规律。

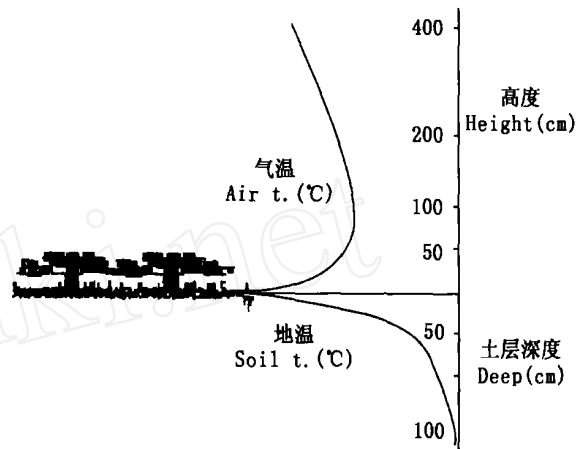


图 2 金露梅灌丛不同部位日均温度分布(2004 年 6 月 1-10 日)

Fig. 2 Vertical changes of mean daily air and soil temperature in *Potentilla fruticosa* shrub (first to tenth, June, 2004)

表 2 金露梅灌丛各部位生物量 6-9 月动态变化模拟

Table 2 Simulation of dynamic changes of *Potentilla fruticosa* shrub biomass of different parts from June to September

| 性状 Item s | 回归方程 Regression equation | 相关系数 Coefficient (r) |
|--|---|----------------------|
| 地上多年累积生物量 Aboveground accumulation biomass | $W = 6.810(x - 5)^2 - 42.442(x - 5) + 216.390$ | 0.9708 |
| 地下生物量 Belowground biomass | $W = 15.199(x - 5)^2 - 64.422(x - 5) + 217.990$ | 0.9999 |
| 当年新生枝叶量 New growth aboveground biomass | $W = -7.905(x - 5)^2 + 44.262(x - 5) - 18.745$ | 0.9756 |

注: W —生物量; x —月份。Note: W —biomass; x —month

2.3 金露梅灌丛地下生物量年周转量及地上、地下生物量所固定的实际碳量

在碳循环研究的过程中,注重的是生物在当年所固定的碳量多少。鉴于此,需要了解金露梅灌丛草甸在当年实际的生物增长量,这主要归结于地上新增生长的枝叶和地下根系实际增加量。目前对于根系实际增加量没有更好的办法来处理,只能采用年周转量的办法来估算^[8-10],也就是说以季节变化中地下净生产量用生长季内地下部分最大现存量与最小现存量的差值来估算。地下生物量的周转率(turnover value)用来描述生态系统地下生物量的更新速度^[8-10],可用下式求得: $TR = AI/BBP$, 式中: TR 为周转率; AI 为地下生物量年增量; BBP 为地下生物量最大值。通过 2004 年 6 到 9 月的测定结果(图 1)估算,海北站金露梅灌丛的地下实际周转量约为 53.7 g/m^2 ,其周转率为 26%。这些值较处在相同海拔高度地区的矮蒿草草甸的值要低^[11],也说明了金露梅灌丛生长极为缓慢的一个重要原因。

由图 1 还可看出,当年新生枝叶量在 7 月中旬最大,约为 41.0 g/m^2 ,以后的时间并未提高,即表明金露梅灌丛草甸区仅金露梅灌丛地上和地下的年净初级生长力只有 94.7 g/m^2 左右。如果将灌木地上部生物量按 36.98%、地下部净生物量按 42.91%、地表枯枝

落叶按 46.39%^[12,13]固定的碳素计算,即固碳量有:地上为 16.4 g/m^2 ,地下为 26.2 g/m^2 ,地上地下总计约为 42.6 g/m^2 。

对于草地群落而言,初级生产力的形成是碳素向群落内输入的主要途径,表现出草地群落中碳的输入量取决于群落的初级生产力水平。如果对单位面积的金露梅灌丛草甸生物量(包括草本与木本)估算,可对实验区进行大面积估测草本与金露梅灌丛在单位面积上的比例,再按其比例进行当年总增生物量的计算。经估测,在我们所做实验的区域,草本植物与金露梅灌丛分别约占金露梅草甸面积的 60% 和 40% 左右。而对区域草甸草本植物的生物量 2004 年测定发现,年地上净初级生产量约为 247.9 g/m^2 ,地下净初级生产量(地下周转净生产量)约为 1119.5 g/m^2 。按金露梅灌丛和草甸草本植物占 60% 和 40% 的比例估算,单位金露梅灌丛草甸中,2004 年灌木实际年净初级总生产量(地上、地下)约为 37.9 g/m^2 。而草本植物的年净初级总生产量(地上、地下)约为 820.4 g/m^2 ,整个金露梅灌丛草甸的年净初级总生产量(地上、地下)便为 858.3 g/m^2 。换算至碳素量(草本按地上 40%,地下 45% 的固碳量计算)约为 481.9 g/m^2 。表明 2004 年年内将有 481.9 g/m^2 碳通过植物发生光合产生碳的净吸收。

3 讨论与结论

目前对于木本植物根系的年增加量没有更好的办法来测试,只能采用估测模型处理,其中采用年周转量的办法,即以季节变化的最大值减去最小值的办法来估算也是一个成熟的手段。鉴于此,本文采用样方调查与挖掘相结合的方法,首先分别建立海北高寒金露梅灌丛草甸分布区仅金露梅灌丛多年累积枝干生物量、地下生物量、当年新生枝叶量与冠丛面最大长度、最小宽度和最大高度的线性回归关系方程: $W_i = e^{a \ln(A \cdot B \cdot H) + b}$ 。再利用所调查的总灌丛数为基本参数,采用该线性回归方程估算单位面积的金露梅灌丛各部位生物量,最后以草本与灌木在实验区所占的比例估算金露梅灌丛草甸的年净初级生产量,以及植物固碳量。结果表明:

3.1 对每月金露梅不同部位生物量回归方程进行显著性检验,相关系数均在 0.8450 以上,呈极显著相关水平 ($P < 0.01$)。表明以该类方法评估金露梅灌丛各部位生物量是可行的。

3.2 金露梅灌丛多年累积的枝干生物量、地下生物量、当年新生枝叶量均具有明显的季节变化,其中地下生物量 6~9 月基本呈现出“U”型变化结构,7 月最低,6 月和 9 月高;累积枝干生物量在 6 月较高,7、8、9 月处于同一水平;当年新生枝叶量自 6 月开始累积,7 月最高,8 月以后随着环境条件变坏逐渐降低。

3.3 2004 年 6~9 月测定结果及金露梅灌丛地下生物量周转量的计算表明,海北站地区金露梅灌丛地下实际周转量为 53.7 g/m^2 ,周转率为 26.38%,当年新生枝叶量可保持在 41.0 g/m^2 左右,即年净初级生产量只达 94.7 g/m^2 ,折合净碳量为 42.6 g/m^2 。

3.4 按草本与金露梅灌丛在样地所占比例,估算 2004 年金露梅灌丛草甸总的年净初级生产量为 858.3 g/m^2 。换算碳素量为 481.9 g/m^2 。表明年内将有 481.9 g/m^2 。

m^2 碳通过植物发生光合产生碳的净吸收。

参考文献

- [1] 王启基,周兴民,张堰青,等. 放牧对金露梅生长发育和生物量的影响[A]. 见: 高寒草甸生态系统(3)[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 89-95
- [2] 周华坤,周立,赵新全,等. 金露梅灌丛地下生物量形成规律的研究[J]. 草业学报, 2002, 11(2): 59-65
- [3] 王启基,周兴民,张堰青,等. 青藏高原金露梅灌丛的结构特征及其生物量[J]. 西北植物学报, 1991, 11(4): 333-340
- [4] 李英年,赵新全,曹广民,等. 海北高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景的分析[J]. 高原气象, 2004, 22(4): 558-567
- [5] 蒲继延,李英年,赵亮,等. 矮高草草甸生物量季节动态及其与气候因子的关系[J]. 草地学报, 2005, 13(3): 238-241
- [6] 周兴民,李建华. 海北高寒草甸生态系统定位站的主要植被类型及地理分布规律[A]. 见: 高寒草甸生态系统(1)[C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 9-18
- [7] 乐炎舟,左克成,张金霞,等. 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及基本特点[A]. 见: 高寒草甸生态系统(1)[C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 19-33
- [8] 李英年. 高寒草甸植物地下生物量与气象条件的关系及周转值分析[J]. 中国农业气象, 1998, 19(1): 36-38
- [9] Singy J S, Yadava P S. Seasonal variation in composition, plant biomass and net primary productivity of a tropical grassland at Kurukshetra [J]. India Ecological Monograph, 1974, 44: 351-376
- [10] 陈佐忠,黄德华. 内蒙古锡林河流域羊草草原与大针茅草原地下部分生产力和周转值的测定[A]. 见: 草原生态系统研究(2)[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 132-138
- [11] 王启基,杨福国,史顺海. 高寒矮高草草甸地下生物量形成规律的初步研究[A]. 见: 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 73-81
- [12] 张金霞,曹广民,周党卫,等. 赵新全高寒矮高草草甸大气-土壤-植被-动物系统碳素储量及碳素循环[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 627-634
- [13] 李家藻,朱桂如,杨涛. 高寒草甸植物的纤维素、根和枯枝落叶分解作用的研究[A]. 见: 高原生物学集刊[C]. 北京: 科学出版社, 1984. 2: 107-113

(责任编辑 孙洪仁)

(上接 61 页)

- [8] 孙洪仁. 乙烯利、多效唑及修剪处理对盆播早熟禾的影响[J]. 草业科学, 1993, 10(4): 18-21
- [9] 张洪荣,周志宇,王锁民. 草坪草生长的抑制与解抑研究[J]. 草业学报, 1994, (4): 66-69
- [10] 吴晓玲. 植物生长延缓剂和修剪对多年生黑麦草主要生长特性和坪用性状的影响[D]. 宁夏农学院. 硕士学位论文, 2000
- [11] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [12] 刘晓静. 草坪质量评价新方法-综合外观质量法[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(6): 651-655
- [13] 尚以顺,唐成斌,陈艳萍. 施用矮壮素对葡茎翹股颖草坪的影响[J]. 中国草地, 1998, (1): 50-53
- [14] 李志华,杨志民,戴国林. 植物生长调节剂对天堂草生长速度及品质的影响[J]. 草业科学, 1998, 15(5): 14-16
- [15] 霍成军,韩建国,毛培胜,等. 矮壮素和多效唑对草地早熟禾草坪质量的影响[J]. 草地学报, 2000, 6(6): 137-143
- [16] 刘发民,王辉珠,孟文学. 草坪科学与研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1998. 189-197
- [17] 董世魁,蒲小鹏,马金星,石振田. 甘肃天祝高寒地区燕麦品种生产性能评价[J]. 草地学报, 2001, 9(1): 44-49
- [18] 张恩和,胡恒觉. 多效唑的作用机理及应用效果[J]. 世界农业, 1996, (1): 20-22

(责任编辑 毛培胜)