

小五台亚高山草甸植物地上生物量及其营养成分研究

黄晓霞¹, 韩京萨², 刘全儒³, 江源⁴, 和克俭¹

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091; 2. 北京师范大学化学学院实验中心, 北京 100875;

3. 北京师范大学生命学院, 北京 100875; 4. 北京师范大学资源学院 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要:亚高山草甸的地上生物量产出及营养状况对于草场的季节性放牧具有重要意义。通过调查及分析发现:1) 小五台的亚高山草甸的地上生物量产出总体来说是随着海拔的升高而增加, 并且与物种多样性有很好的相关关系, 其形成主要受近地面温度及土壤养分条件的影响。2) CCA(典范对应分析)排序结果表明, 对小五台植物营养成分含量影响较大的环境因子是温度、太阳辐射和土壤养分及水分含量。3) 从牧场利用的角度来看, 草甸植物的纤维和热值含量高, 海拔增加植物中粗蛋白的含量也随之增加, 体现出高寒植物的特点; 就放牧而言, 阴坡的植物营养要好于其他坡向, 但草甸中豆科植物相对缺乏, 需要适当补充。

关键词:亚高山草甸; 生物量; 营养成分; CCA; 小五台山

中图分类号: Q945.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0629(2008)11-0005-08

^{*1} 小五台山的亚高山带主要分布着嵩草 *Kobresia* spp. 草甸, 虽然面积不大, 却是草质优良、营养丰富的天然放牧场, 是非常重要的夏季牧场资源。研究表明, 由于其所处的地理环境的制约, 特别是气候寒冷, 生长季短暂, 使得嵩草草甸的初级生产力水平较低^[1]。而且, 具体的生境条件——温度、光照、水分以及土壤肥力等的差异也影响着这类草甸的地上生物量形成^[2]。此外, 草甸植物的营养成分也是草地生态系统研究的主要内容, 探讨植物的营养状况与环境之间的本质联系, 深入理解不同植物营养形成与生态适应机制, 近年来也越来越受到关注。目前已有涉及五台山山地草甸的植物群落多样性^[3]及生态位研究^[4], 对小五台亚高山草甸的物种分布与生境关系也有探讨^[5], 但针对其植物营养成分的研究未见报道。高寒草甸的物质形成有其自身规律, 对小五台亚高山草甸的地上生物量以及主要牧草的营养成分进行研究, 有助于揭示草地生态系统物质生产规律, 同时对草地的等级评价和草地的合理利用、科学安排放牧等均有重要意义。

1 研究方法

1.1 研究地区概况 小五台山位于河北省西部蔚县境内, 最高峰东台海拔 2 882 m。蔚县县

城海拔 909.5 m, 气候属于暖温带大陆季风型山地气候, 年均气温 6.4 °C, 1 月平均气温 -12.3 °C(山顶最低可达 -38 °C), 7 月平均气温 22.1 °C。年降水量 400700 mm。无霜期 80140 d^[6]。基带植被类型属暖温带落叶阔叶林, 土壤为褐土、棕色森林土与亚高山草甸土。所选研究区域位于北纬 39.82°-39.87°, 东经 115.04°-115.06°, 海拔 2 200 m 以上的东台亚高山草甸分布地段, 面积约为 9.6 km²。

1.2 样品采集与生物量干质量测定 于整个研究区域内充分考虑了坡向、坡度、海拔等因子的变化, 设置了 8 条样线, 以 50 m 的海拔高度为间隔设置样方, 每个样方面积为 1 m×1 m, 共计设置样方 76 个。记录各样方的海拔、坡向、坡度等环境特征, 并做样方植物种类组成、每个种平均高度、投影盖度等群落学特征调查后, 以 0.5 m×0.5 m 样方对其优势种地上部分进行分种取样,

收稿日期: 2007-12-05
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40571001 和 40371043);
云南大理(工)科校级科研重点项目(2005Z005B); 云南大学中青年骨干教师培养计划(W33020000)
作者简介: 黄晓霞(1978-), 女, 广西柳州人, 副教授, 博士, 主要从事自然地理学和植被生态学研究。
E-mail: huangxx@ynu.edu.cn
通讯作者: 韩京萨 E-mail: hjs@bnu.edu.cn

对非优势种的地上部分进行混合取样,齐地面刈割,制成风干样。每个样点共计重复采样3次。然后在烘箱内65℃烘干至恒量,用精度为0.01g的天平反复测量3次测得干质量。

1.3 营养成分测定 植物茎叶样品65℃干燥箱内干燥24h后,混合粉碎,并进行筛析(筛孔内径1mm)备用。按常规分析方法测定样品干物质、粗蛋白、粗脂肪、灰分含量,中性洗涤纤维用Van Soest法测定^[7]。每项分析均经过3次重复取平均值。

1.4 环境因子测定与模拟

1.4.1 土壤采样与分析 植被调查的同时用土钻测定样方的土层厚度(样方内外3次重复),并挖取地下10cm处的土壤充分混合后的样品,带回实验室风干,分别用电位法测定其pH值,用油浴加热—重铬酸钾氧化法测土壤有机质含量,用凯氏定氮法测土壤全氮含量3项指标。

1.4.2 效应温度测定 由于山地小气候特征受到微地面起伏形态的影响,差异很大,因此采用了能够反映近地面温度对植物累积作用过程的化学温度测定方法——转化糖方法^[8],于生长季内连续48d,观测布设在研究区内不同地形部位的152个测点,最终回收得139个测点的数值,从而得到反映生境热量条件的效应温度,并通过Kriging插值获得研究区的效应温度分布图。在此基础上,提取各样方的效应温度数值。

1.4.3 太阳直接辐射模拟 在1:50000地形图基础上生成的研究区数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)(像元大小为10m×10m),用ArcView的扩展模块Solar Analyst^[9]模拟研究区的太阳辐射状况(时段为进行野外调查时的生长季),然后从太阳直接辐射量模拟分布图上提取各个样点的太阳直接辐射量数值。

1.4.4 土壤水分状况模拟 研究区的表层水分状况由于受山地气候多变的影响,无法在短时段内获取稳定可靠的土壤水分数据。因此用土壤湿润度指数(Wetness Index)(亦称为复合地形指数,Compound Topographic Index)进行模拟。计算公式参考Beven等提出的式(1)^[10,11]得到各个像元的土壤湿润度指数:

$$W_T = \ln(S/\tan\theta) \quad (1)$$

式中, W_T 为像元的土壤湿润度指数; S 为单位等高线长度上垂直于径流方向的上游汇水面积, θ 为像元的平均坡度。

1.5 数据处理

1.5.1 多样性指数计算 草甸植物的物种多样性用Shannon—Wiener指数计算^[7]。其中以总优势比作为参数,计算公式如式(2)。

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (2)$$

式中, n 为样方中的总种数, p_i 为种 i 的相对总优势比。

1.5.2 CCA 排序分析 植物营养成分与环境关系的典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)使用CANOCO软件完成。这是一种多元直接梯度分析方法,可直观反映植物营养成分与环境之间的关系^[12]。CCA分析所选取的环境参数主要为与植物生长直接相关的生态因子,如生境中的光照、温度、水分、养分等状况。包括:1)效应温度:从研究区的效应温度分布图中提取;2)太阳直接辐射:从太阳直接辐射量模拟分布图上提取;3)土壤水分:从研究区土壤湿润度系数分布图上提取相应数值;4)土壤有机质和全氮含量:分析根系层土样得到的实测数据;5)土壤pH值:样方土壤酸碱度的实测值;6)土层深度:各样方土层深度3次重复测量的平均值。

1.5.3 方差分析及回归分析 数据处理使用SPSS10.0完成。

2 结果与讨论

2.1 草甸植物的地上生物量

2.1.1 地上生物量分布特点 方差分析结果表明,小五台研究区的亚高山草甸地上生物量在不同的海拔范围内有较大的差异(图1)。总体来说,小五台亚高山草甸的地上生物量随着海拔升高,从2200m的867kg/hm²逐步上升,到2600m左右达到最大值,为2793.3kg/hm²;但到2700m以上有所下降,约2038.5kg/hm²,山顶部位2800m左右回升到2256.7kg/hm²。

出现这种现象,可能是与研究区的人为活动和放牧干扰,在海拔越低的位置强度越大,在一定

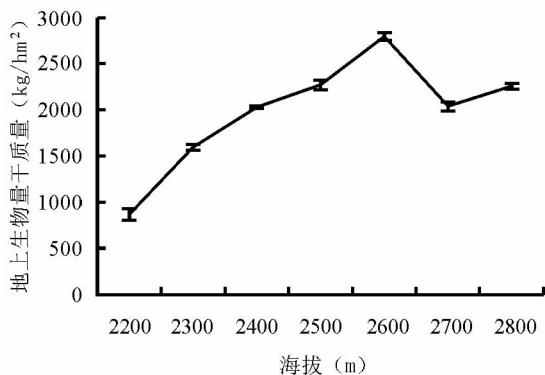


图 1 小五台亚高山草甸地上生物量沿着海拔的变化

程度上降低了草甸植被的地上生物量有关。而生物量到山顶部位出现一定程度的下降,则可能是由于顶部面积小,山顶效应强烈,生境条件不佳所致。

2.1.2 地上生物量与多样性的关系 在了解和认识群落植物多样性对生态系统功能的作用过程中,群落植物多样性和初级生产力之间关系的研究显得尤为重要。生产力被认为是受生物多样性影响的一个重要的生态系统功能特征^[13]。对小五台研究区生产力(地上生物量干质量)与植物物种多样性(Shannon 指数)的分析得到很好的线性正相关关系。其回归方程为:

$$y = -4\ 671.275 + 2\ 106.779x$$

$$(R^2 = 0.383, P = 0.000\ 8, n = 24)$$

这一结果与 Tilman^[14] 和 Naeem^[15] 等认为物种多样性与生产力,特别是地上生物量之间呈正相关的结论一致。但与覃光莲等^[16] 对高寒草甸植物群落中物种多样性(Shannon 多样性指数)与生产力(地上生物量)关系的研究结果得出的:多样性与生产力的总体关系呈对数线性增加关系不完全吻合,观测时间和环境条件的不同可能是造成结果不一致的主要原因,但也不否认采样数量增加后可能得到类似结果。

另外,也可简单地建立地上生物量干质量与物种丰富度(S)的回归方程(用 1 m² 样方内出现的物种数表示物种的丰富度):

$$y = -136.310 + 70.822x$$

$$(R^2 = 0.270, P = 0.005\ 4, n = 24)$$

显然,多样性指数与样方内的物种数有着很好的相关关系,物种数量越丰富,多样性指数往往

也越高。但对于小五台亚高山草甸而言,多样性指数能够更好地反映其地上生物量产出。

2.1.3 地上生物量与主要环境因子的关系 通过地上生物量与环境因子的相关分析显示,小五台亚高山草甸的地上生物量干质量与效应温度、土壤有机质含量和土壤全氮含量显著相关($P < 0.05$)。其回归方程为:

$$y = -1\ 232.118 + 93.974x_1 + 10.110x_2 + 154.839x_3$$

$$(R^2 = 0.504, P = 0.000\ 64, n = 20)$$

式中, y 为地上生物量干质量; x_1 为效应温度; x_2 为土壤有机质含量; x_3 为全氮含量。

由于陆地植物的生产力与土壤养分、降水和温度有关。在高寒区域,当水分不成为限制因子的时候,草甸的生物量往往与温度存在很好的相关关系^[17]。在小五台研究区,草甸植物地上生物量的形成表现出了与温度和养分条件很好的相关性。此外,通过分析土壤养分与海拔、坡向、坡度等环境因子的关系,亦发现随着坡度变陡、海拔增加,土壤养分中的土壤有机质和土壤全氮含量随之增加。回归分析也反映了土壤养分对小五台亚高山草甸的地上生物量产出有重要的影响,因此出现了干草产量随着海拔升高而增加的趋势。

2.2 草甸植物的营养成分

2.2.1 营养成分的含量特征 作为放牧草场,植物中营养成分的分析具有重要的参考意义。对小五台草甸植物的粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、灰分、中性洗涤纤维含量以及热值高低的分析结果如表 1 所示。

总体来看,小五台草甸植物的纤维含量偏高。这与草甸中占优势的莎草科及禾本科植物,在适应高寒、低温、缺氧、干旱和疾风等逆境胁迫过程中形成的植株低矮,粗壮发达,叶片栅栏组织紧密层数增多,角质膜增厚,通气组织发达等特征^[18,19] 有关。而小五台草甸植物的平均热值与杨福国等^[20] 提供的 29 种高寒草甸植物平均干质量热值相比,属于比较高的类型。热值含量高使植物本身提高了抗寒能力,以适应高寒的生态环境^[21]。在阿尔卑斯山和华盛顿高山植物的能量研究也证实,高山地区植物的热值较高^[22]。研究

表 1 小五台亚高山草甸植物茎叶营养成分含量($n=36$)

类别	粗蛋白 (%)	粗纤维 (%)	粗脂肪 (%)	中性洗涤纤维 (%)	粗灰分 (%)	热值 (J/g)
平均值	11.58	21.88	10.69	47.52	8.71	19 645.3
最大值	21.28	28.37	19.46	63.15	17.18	36 094.0
最小值	8.43	13.34	2.55	13.36	6.10	10 498.0
标准差	2.12	3.13	4.40	11.50	1.87	3 826.4
变异系数(%)	18.30	14.30	19.60	24.20	21.50	19.5

也发现,热值偏高也与生境中热量条件较好有一定的关系。

2.2.2 不同类群植物的营养成分差异 根据小五台亚高山草甸群落的组成特点,将群落中主要的建群和优势植物分为莎草科、禾草科、豆科、菊科和其他科属植物 5 种类型。对其营养成分进行方

差分析,不同植物类型表现出明显不同:5 种营养成分指标中,4 项指标表现出显著差异,其中粗纤维、中性洗涤纤维表现出极显著差异($P < 0.001$),而灰分和粗蛋白含量表现出显著差异($P < 0.05$)。各植物类群的营养成分含量均值如图 2 所示。

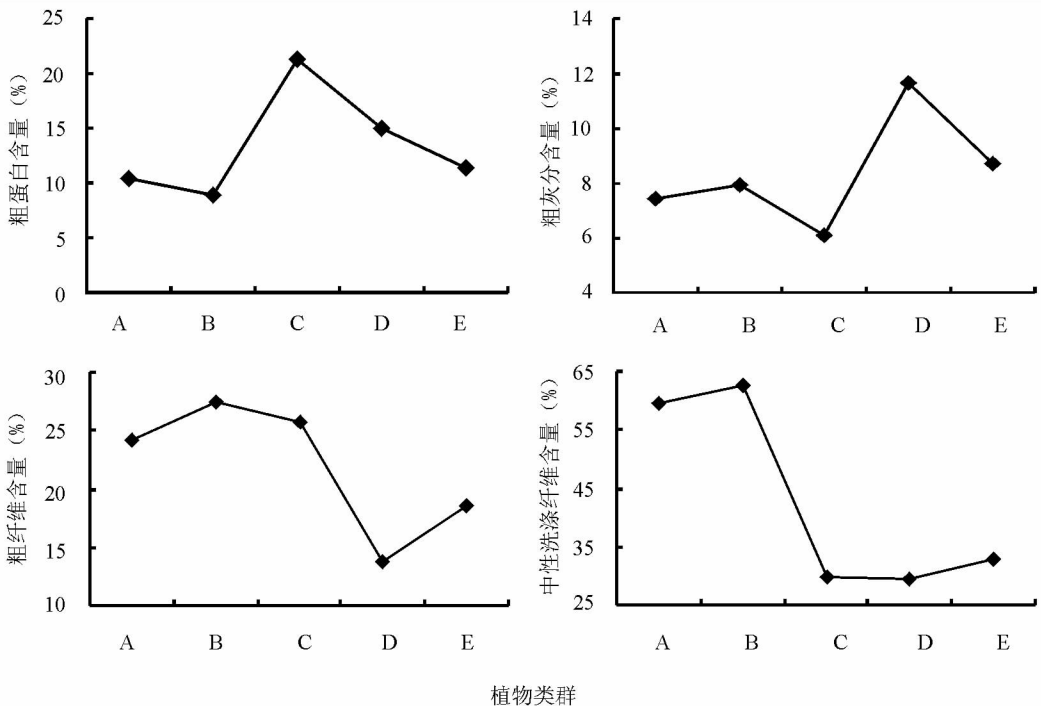


图 2 小五台各植物类群营养成分含量对比

注:A 为莎草类;B 为禾草类;C 为豆科;D 为菊科;E 为其他科。

从牧草利用角度来看,蛋白质含量高低是评定牧草营养价值最重要的指标^[23]。小五台草甸的豆科植物中利于动物生长发育的营养成分粗蛋白含量高,而影响动物对饲料消化率的营养成分中性洗涤纤维含量低,若为牲畜喜食,是利用价值很高的牧草。而作为建群种和优势种的莎草科及禾本科植物,粗纤维和中性洗涤纤维含量明显高

于其他种类,粗蛋白含量则相对较低。菊科植物的粗蛋白、粗灰分含量较高,纤维含量最低。饲草灰分中的矿物元素不仅对植物自身起着重要作用,对草食动物的生长、繁殖等诸多方面也起着极为重要的作用。从分析结果来看,菊科植物灰分含量最高,其他种类植物的灰分水平相差不大,豆科植物的灰分含量最低。由于草甸中菊科植物的

比例很高,豆科植物相对较少,因此就放牧而言,草甸植物的矿质元素并不缺乏。

从不同类群植物营养差异的分析结果来看,莎草科和禾本科具有典型的高寒牧草的特点,但相比较青藏高原的同类牧草^[24,25]而言,其蛋白质含量明显偏高,属于优良的牧草。此外,珠芽蓼 *Polygonum viviparum*、紫苞风毛菊 *Saussurea iodostegia* 和雪白委陵菜 *Potentilla nivea* 在小五台的草甸群落中也占据了相当大的比例。珠芽蓼草质柔软、多汁、多叶,秋季果实成熟期富含粗蛋白和粗脂肪,但营养价值明显低于豆科,略低于莎草科,而高于禾本科和菊科,也是抓膘的良好牧草^[26]。紫苞风毛菊在幼嫩期和秋季各种家畜均喜食,但夏季适口性较差,属于中等饲用植物。雪白委陵菜主要是羊乐食其叶,属良等饲用植

物^[27]。相比而言,豆科植物虽然综合营养价值最高,但在草甸中以湿地岩黄芪 *Hedysarum inundatum* 和各种棘豆 *Oxytropis* spp. 为主,在群落中的比重不是很高,作为放牧场,仍然缺乏豆科牧草,在利用时应注意适当的补充。

2.2.3 不同群落的营养成分差异 小五台的嵩草群落主要分为 4 种类型的群丛,即多分布于阴坡的嵩草 *Kobresia myosuroides* + 湿地岩黄芪群丛,主要分布于阳坡的嵩草 + 华北蓝盆花 *Scabiosa tschiliensis* 群丛,以及处于过渡生境的嵩草 + 雪白委陵菜 + 湿地岩黄芪群丛,和放牧扰动影响显著的嵩草 + 珠芽蓼 + 卵穗苔草 *Carex duriuscula* 群丛。4 类群丛从生境条件和营养特征上具有以下特点,见表 2。

表 2 小五台亚高山草甸主要群丛营养特征对比

类项	嵩草 + 雪白委陵菜 + 湿地岩黄芪		嵩草 + 珠芽蓼 + 卵穗苔草		嵩草 + 华北蓝盆花
	嵩草 + 湿地岩黄芪	湿地岩黄芪	干扰生境		
生境特征	阴坡	西坡	干扰生境		阳坡
粗蛋白 (%)	13.05 ^a	10.83 ^b	11.84 ^{bc}		10.77 ^b
粗纤维 (%)	22.25	20.94	21.56		21.89
粗脂肪 (%)	8.73 ^a	17.68 ^b	11.81 ^a		10.00 ^{ac}
灰分 (%)	8.11 ^a	8.57 ^{ab}	9.8 ^b		8.08 ^a
中性洗涤纤维 (%)	47.89 ^a	41.98 ^{bc}	45.13 ^{ac}		49.38 ^a
热值 (J/g)	18 044 ^a	19 793	18 122 ^a		20 263 ^b
植物类群 (%)	莎草科	15.96	16.38	18.67	18.20
	禾本科	4.25	5.28	4.04	6.22
	豆科	15.96	13.04	4.72	6.43
	菊科	17.18	26.5	25.99	16.70
	其他科	46.65	38.81	46.58	52.45

注:同行不同小写字母表示不同群丛类型之间存在着显著差异($P < 0.05$)。

从表 2 中可以看出,粗蛋白含量在阴坡群落中的含量明显高于其他群落,一方面是粗蛋白含量高的豆科植物在阴坡群落中所占比重增加,另一方面,阴冷的生境要求植物提高抵御寒冷的能力,也使得群落中植物的粗蛋白含量有所增加。而灰分的含量在受到干扰的群落中较高,这可能与干扰生境中植物的金属元素含量增加有关,同时也与群落中灰分含量高的菊科植物比例增加有关。中性洗涤纤维含量在阳坡和干扰生境中的群落内较高,则与群落中的莎草科和禾本科植物比例高有关。热值在阳坡群落中最高,这与生境中的光照条件好、温度较高有直接的关系。

2.2.4 营养成分含量与环境的关系

1) 海拔和坡向对植物营养成分含量的影响:海拔是研究区内最为明显的环境梯度。植物中的营养成分含量也随着海拔发生相应变化。方差分析表明,植物的灰分含量有较为显著的变化($P < 0.05$)。在低于 2 600 m 以下的地段,随海拔升高而降低,自 2 600-2 800 m 地段则表现出上升趋势(图 3)。

植物中粗蛋白含量并未表现出随着海拔的相应变化。但是对不同坡向上的粗蛋白含量与海拔高度进行回归,则有明显的变化趋势。回归结果如下:

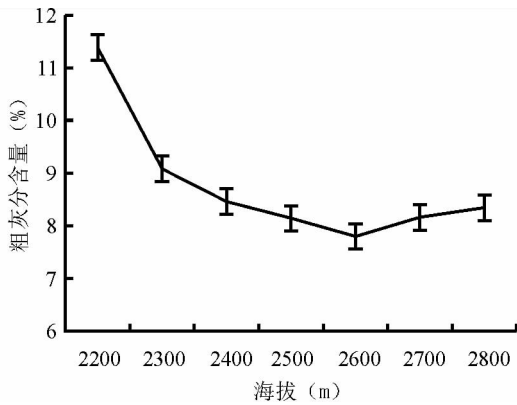


图3 小五台亚高山草甸植物粗灰分沿着海拔的变化

(a) 阴坡:

$$y_{\text{阴}} = 0.6865 + 0.0046x$$

$$(R^2 = 0.643, P = 0.009, n = 7)$$

(b) 阳坡:

$$y_{\text{阳}} = 0.6865 + 0.0046x$$

$$(R^2 = 0.838, P = 0.011, n = 8)$$

(c) 西坡:

$$y_{\text{西}} = 3.4268 + 0.0028x$$

$$(R^2 = 0.581, P = 0.046, n = 6)$$

可见在阴坡和阳坡上,粗蛋白含量都是随着海拔的上升而增加,而西坡则呈下降趋势。这很可能是植物适应高寒低温等逆境条件的重要原因^[24]。而西坡样方主要分布在海拔2500 m以下,受到放牧的影响较大,牲畜的采食可能导致植物中蛋白质含量的下降。同时,方差分析也显示,阴坡的粗蛋白含量均值为 $(12.599 \pm 0.365)\%$,明显高于阳坡 $[(10.757 \pm 0.138)\%]$ 和半阳坡 $[(11.391 \pm 0.328)\%]$ 的水平 $(P < 0.05)$ 。这与董宽虎等^[28]对不同坡向牧草产量动态的研究结论一致。

2)其他环境因子对小五台植物营养成分的影响:去除海拔梯度及坡向、坡度等地形因子作用,选取直接作用于植物生长的环境因子对植物的营养成分进行CCA分析。结果如表3所示。

从表3中可以看到,第1、第2轴的累积贡献率占31.2%,解释了大部分的变异。CCA分析结果显示,效应温度、太阳辐射和土壤养分含量对小五台植物营养成分的含量影响较大。对于植物营养元素而言,排序轴的第1轴主要与效应温度和

太阳辐射相关,可以说体现了热量的梯度;而第2轴则综合了太阳辐射、土壤有机质含量和土壤水分的作用;第3轴主要反映了土壤养分的影响,第4轴则主要体现土层厚度的差异。

表3 小五台各环境因子与CCA排序轴之间的相关系数

环境因子	AX1	AX2	AX3	AX4
效应温度	0.910**	-0.139	-0.035	-0.157
太阳直接辐射量	0.566**	-0.597**	0.243	-0.378
土壤湿润度指数	0.173	-0.429*	0.117	0.050
土壤有机质含量	0.150	0.520**	0.710**	-0.207
土壤全氮含量	0.124	0.208	0.784**	0.170
土壤pH值	0.152	-0.158	-0.190	-0.201
土层厚度	0.236	0.195	-0.008	0.394*
特征值	0.055	0.037	0.012	0.010
累积贡献率(%)	18.800	31.200	35.500	38.800

注:AX为CCA分析的4个排序轴:AX1,轴1;AX2,轴2;AX3,轴3;AX4,轴4。*表示 $P < 0.01$,*表示 $P < 0.05$ 。

从相应的CCA排序图(图4)中可以看到,对于植物营养成分而言,受生境条件影响最明显的植物营养成分是热值和粗蛋白含量。从图4中可以看到,热值含量高的植物往往纤维含量也比较高,通常分布在效应温度较高的阳坡生境,这与前面分析中发现阳坡群落植物中的热值较高,以及生长于阳坡的莎草科植物嵩草的粗纤维含量较高

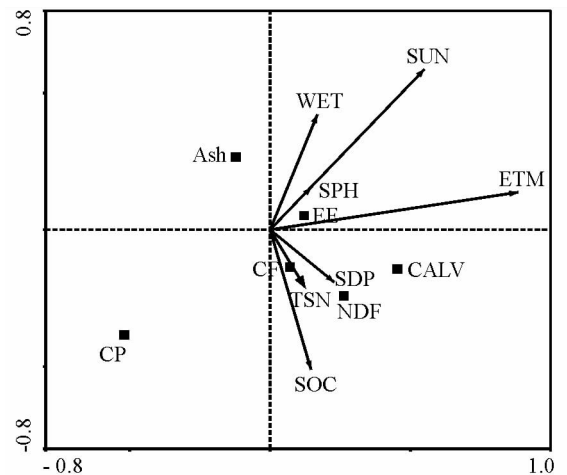


图4 小五台植物营养成分含量与环境因子的CCA排序

注:ETM:效应温度;SUN:太阳直接辐射;WET:土壤湿润度指数;SOC:土壤有机质;TSN:土壤全氮;SPH:土壤pH值;SDP:土层厚度;CP:粗蛋白;CF:粗纤维;EE:粗脂肪;NDF:中性洗涤纤维;Ash:灰分;CALV:热值。

有关。图中位置也显示,植物中纤维和热值高的地方土壤养分状况较好。而植物中粗蛋白的含量则在效应温度较低,辐射较弱以及土壤有机质含量较高的生境中偏高,这恰好是阴坡生境所具有的特点,而分析表明粗蛋白含量较高的豆科植物,主要分布在研究区的阴坡环境中。平车前 *Plantago depressa* 一类灰分含量高的植物,一般分布在海拔偏低、土壤水分较高、土壤养分较差的地方,即研究区的沟谷地段,图中也反映了这个特点。说明沟谷地段植物的营养成分与其他生境有较大的区别,很可能是位置较低,受到放牧扰动的影响使植物成分发生了变化。

3 结论

3.1 小五台亚高山草甸地上生物量的分布与形成规律

从小五台亚高山草甸的地上生物量分布规律来看,其草甸分布的海拔位置虽然较高,但其地上生物量干质量并未因低温、生长季节较短而下降,在 2 200~2 600 m 草甸分布的主要地段有随着海拔升高而增加的趋势。且分析表明,地上生物量与物种多样性有很好的相关关系,而近地面温度和土壤养分条件对于草甸植物地上生物量的形成起到了重要作用。

3.2 小五台草甸植物营养成分与环境的关系

在小五台亚高山草甸地段,海拔主要影响植物中灰分的含量,这一成分随着海拔增加有减少的趋势。而粗蛋白的含量除了受海拔的影响以外,更多是受到坡向的控制。除了西坡表现出下降趋势以外,阴坡和阳坡植物中粗蛋白的含量都随着海拔的上升而增加。

CCA 分析结果表明,效应温度、太阳辐射、土壤养分和水分条件是控制小五台植物营养成分最重要的因子。热量条件较好的生境植物的热值和纤维含量较高。低温阴冷的生境中植物的粗蛋白含量则相对较高。同时,这些地方的土壤养分状况也比较好。

3.3 小五台草甸植被的利用价值

总体来看,小五台亚高山草甸植物的热值较高,且群落中占据了相当大比例的莎草科以及禾本科耐寒种类,具有粗纤维和中性洗涤纤维含量较高的特点。

这与作为高寒草甸建群种和优势种的嵩草属植物为适应寒冷、海拔高、辐射强等不利环境形成特殊的抗寒旱生结构有关。

就放牧而言,阴坡植物的营养价值明显好于其他坡向,但草甸中豆科植物相对缺乏。而由于方差分析显示小五台草甸植物的灰分含量随着海拔增加有较为显著的减少趋势,灰分中所含的矿物元素相应减少,可能使得植物中的矿质元素出现不足,需要适当补充。

另外,在小五台亚高山草甸的海拔偏低地段,已出现轻微的草地退化现象,在利用中仍需注意合理安排放牧,避免过度利用。

参考文献

- [1] 周兴民. 中国嵩草草甸[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 1-27.
- [2] 赵慧颖. 内蒙古东北部天然牧草生物量与气候条件的定量关系[J]. 草业科学, 2007, 24(3): 8-11.
- [3] 聂二保, 上官铁梁, 张金屯, 等. 山西五台山蓝花棘豆群落的多样性研究[J]. 草业科学, 2006, 23(4): 3-7.
- [4] 闫美芳, 上官铁梁, 张金屯, 等. 五台山蓝花棘豆群落优势种群生态位研究[J]. 草业学报, 2006, 15(2): 60-67.
- [5] 黄晓霞, 江源, 刘全儒, 等. 小五台山亚高山草甸物种分布的生境条件解释[J]. 草业学报, 2007, 16(6): 7-13.
- [6] 于澎涛, 刘鸿雁. 五台台北台北坡植被垂直带的表土花粉及其气候意义研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33(4): 475-484.
- [7] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 农业出版社, 1999.
- [8] 江源. 测定温度的转化糖方法及其在景观生态学中的应用[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 28-33.
- [9] Fu P, Rich P M. Design and implementation of the Solar Analyst; an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference, San Diego, USA, 1999. [EB/OL]http://www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm, 2004-04-15.
- [10] Beven K J, Kirkby M J. A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology [J]. Hydrological Sciences Bulletin, 1979, 24(1): 43-69.
- [11] Quinn P F, Beven K J, Lamp R. The $\ln(a/\tan \beta)$

- index; how to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework [J]. *Hydrology Process*, 1995, 9(2):161-182.
- [12] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [13] 黄建辉, 白永飞, 韩兴国. 物种多样性与生态系统功能: 影响机制及有关假说[J]. *生物多样性*, 2001, (9):1-7.
- [14] Tilman D, Reich P B, Knope J, *et al.* Diversity and productivity in a long-term grassland experiment [J]. *Science*, 2001, 294:843-845.
- [15] Naeem S, Tompson L J, Lawler S P, *et al.* Declining biodiversity can alter the performance of ecosystem [J]. *Nature*, 1994, 368:734-737.
- [16] 覃光莲, 杜国祯, 李自珍, 等. 高寒草甸植物群落中物种多样性与生产力关系研究[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊):57-62.
- [17] 李英年. 高寒草甸植物地上生物量生长过程某些特征[J]. *中国农业气象*, 1998, 19(6):44-47.
- [18] 王为义. 高山植物结构特异性的研究[J]. *高原生物学集刊*, 1985, (4):19-32.
- [19] 王勋陵, 王静. 植物形态结构与环境[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1989. 105-138.
- [20] 杨福囤, 何海菊. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究[J]. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1983, 7(4):280-288.
- [21] Zachhuber K, Larcher W. The some Saxifraga and Primula energy increased with elevation change[J]. *Photosyntherica (Pragae)*, 1979, 12(4):436-439.
- [22] Hadley E B, Bliss I C. Energy relationships of alpine plants and Mt. Washington[J]. *New Hampshire Ecological monographs*, 1964, 134(34):331-357.
- [23] 崔鲜一, 彭玉梅, 程渡. 适宜放牧的根稟型苜蓿生理特性及营养动态研究[J]. *草原与草坪*, 2001, (1):22-24.
- [24] 韩发, 贾桂英, 师生波. 青藏高原不同海拔矮蒿草蛋白、脂肪和淀粉含量的变异[J]. *植物生态学报*, 1997, 21(2):97-104.
- [25] 王艳萍, 郑中朝, 晁生玉, 等. 青海可可西里国家自然保护区草地牧草营养成分测定[J]. *草原与草坪*, 2005, (4):30-33.
- [26] 胡自治, 孙吉雄, 张映生, 等. 天祝高寒珠芽蓼草甸群落的热值和营养成分的初步研究[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1990, 14(2):185-190.
- [27] 陈山. 中国草地饲用植物资源[M]. 沈阳: 辽宁民族出版社, 1994.
- [28] 董宽虎, 靳宗立, 张建强, 等. 亚高山草甸不同坡向牧草产量动态的研究[J]. *山西农业大学学报*, 1994, (1):22-25.

Biomass and nutritive components of subalpine meadow on Mt. Xiaowutai

HUANG Xiao-xia¹, HAN Jing-sa², LIU Quan-ru³, JIANG Yuan⁴, HE Ke-jian¹

(1. College of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. College of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

4. College of Resources Science, Beijing Normal University; Key Laboratory of

Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on the fieldwork and quantity analysis, the relationships of herbage yield and nutritive value between selected environmental factors in the subalpine meadow of Mt. Xiaowutai were studied. The main results are shown as follows: 1) Herbage yield increased with elevation from 2 200 m to 2 600 m and then declined until 2 800 m, which showed high correlation with the species diversity, and the effective temperature and soil nutrition content could partly explain the result; 2) The Canonical Correspondence Analysis suggested that the amount of heat and soil organic content, also with soil wetness index inflected the quality of meadow in Mt. Xiaowutai; 3) Most of the plants improved their cold-resistance and adaptability to stressful environments by increasing CP, fiber content and caloric value. For grazing, the quality of plants in shady slope was better than that of others, but leguminous plants were inadequate to meet the needs of grazing cattle for growth.

Key words: subalpine meadow; herbage yield; nutritive value; CCA; Mt. Xiaowutai