

文章编号: 1000-4025(2002)05-1191-06

## 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

徐世晓, 赵新全, 孙平, 赵伟, 赵同标

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要:** 利用大板山北坡 3 200 m ~ 3 800 m 的海拔梯度, 分别在 3 200 m、3 400 m、3 600 m 和 3 800 m 处选取矮嵩草 (*Kobresia humilis*)、黑褐苔草 (*Carex alrofusca*) 2 种青藏高原重要莎草科牧草, 并用二级离体培养法模拟测定其体外消化率, 1999 和 2000 年的测定结果发现, 随着海拔升高牧草体外消化率呈增加的趋势, 海拔高度从 3 200 m 升高到 3 800 m, 矮嵩草叶、矮嵩草茎、黑褐苔草叶、黑褐苔草茎的体外消化率分别增加了 8.30 和 4.48、8.45 和 5.03、10.94 和 9.58、7.85 和 8.09 个百分点。显著性分析结果表明, 牧草体外消化率与牧草所生长的海拔高度之间的正相关关联差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

**关键词:** 青藏高原; 海拔; 矮嵩草; 黑褐苔草; 模拟体外消化率

中图分类号: Q 948.11 文献标识码: A

## Study on simulated vitro digestibility of 2 species sedge family herbage grown at different altitudes in Tibetan Plateau

XU Shi-xiao, ZHAO Xin-quan, SUN Ping, ZHAO Wei, ZHAO Tong-biao

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xi'ning 810001, China)

**Abstract:** Four sites which depend on different altitudes along northern slope of Daban Mountain were used to investigate the impacts of altitude on Sedge family herbage vitro digestibility. Every 200 m of each site were choosed along northern slope of Daban Mountain where the altitude raises from 3 200 m to more than 3 800 m. Two species of Ti-

收稿日期: 2001-11-07; 修改稿收到日期: 2002-02-21

基金项目: 国家基础研究规划项目(G1998040813); 国家自然科学基金资助项目(30070147)和中国科学院创新工程项目(KZCX1-09-01)

作者简介: 徐世晓(1973-), 男(汉族), 青海乐都人, 硕士, 从事生态学方面研究。

E-mail: xushixiao@sina.com.cn

betan Plateau sedge family herbage, such as *Kobresia humilis*, *Carex alrofusca* which distribute at different altitudes of Daban Mountain were selected to determine its simulated vitro digestibility. The results obtained from the experiment indicate that there are a positive correlation between herbage vitro digestibility and the altitude of sites herbage grow. based on the results of 1999 and 2000 vitro digestibility of the leaf of *Kobresia humilis*, stem of *Kobresia humilis*, leaf of *Carex alrofusca*, stem of *Carex alrofusca* increase 8.30 and 4.48, 8.45 and 5.03, 10.94 and 9.58, 7.85 and 8.09 percent respectively as raise of altitude from 3200 m to 3800 m.

**Key words:** Tibetan Plateau; altitude; *Kobresia humilis*; *Carex alrofusca*; simulated vitro digestibility

当前,关于青藏高原不同海拔梯度牧草营养含量变化规律的研究比较普遍,已得到了一系列规律性结果,认为随着海拔的升高牧草蛋白质、脂肪及可溶性糖等营养物质含量升高<sup>[1,2]</sup>。有关青藏高原牧草消化率差异与海拔高度相关关系的研究尚未见报道,而牧草消化率的测定是评价牧草营养价值的一项关键工作;本研究选取生长在4个海拔梯度的矮嵩草和黑褐苔草2种青藏高原重要的莎草科牧草,利用藏系绵羊瘤胃液进行二级离体消化实验,模拟测定其体外消化率,探讨牧草生长的海拔梯度同牧草消化率之间的关系。

## 1 自然概况

本研究涉及区域位于青海省海北藏族自治州门源回族自治县和大通回族自治县交接的大板山,海拔3100~4000 m。受地理位置及地形条件的影响,气候具有明显的高原大陆性特点,冷季漫长寒冷而且干燥,暖季短暂凉爽而湿润,日温差大,太阳辐射强烈。降水多集中于5~9月,占全年降水量的80%;地处高寒,气温变幅大,霜冻严重,早霜出现早,晚霜结束晚<sup>[3]</sup>。植被类型主要有高山灌丛(alpine shrub)、高山草甸(alpine meadow),滩地、山地阳坡分布着嵩草草甸(*Kobresia meadow*),其中矮嵩草草甸是该地区分布最普遍的类型之一<sup>[4]</sup>。

植物生长低矮,高度一般为5~15 cm,以矮嵩草为建群种,群落结构简单,一般为一层。植物营养丰富,具有高蛋白、高脂肪、高无氮浸出物、高热值含量与低纤维等“四高一低”的特点,草质柔软,适口性好<sup>[4~6]</sup>。

## 2 实验方法

### 2.1 样品采集、处理

分别于1999年和2000年8月(草盛后期)剪取牧草地上部分,采集后的样品先置于105℃烘箱中烘5 min,迅速杀死组织,再在70℃下烘干至恒重后保存。为了减少物候期对牧草营养含量的影响,每年都是从海拔3200 m开始,依次在同一物候期间采集3400 m、3600 m和3800 m处的样品。烘干后的牧草粉碎成直径小于1 mm粉末以增加消化液与样品的接触面积。

## 2.2 消化率的测定

1963 年英国营养学家 Tiiley 和 Terry 总结前人的经验, 提出了反刍家畜二级离体消化实验法。该方法经过不断改进和完善被公认是间接测定饲草常规体外消化率的一种比较可靠的方法<sup>[7]</sup>。通过瘘管从藏系绵羊体内抽取的瘤胃液, 与精确配置的磷酸缓冲液混合, 同时通入 CO<sub>2</sub> 以营造瘤胃内厌氧微生物生活的无氧环境, 在 38 ~ 39 °C 恒温下培养, 模拟反刍动物瘤胃液的消化过程。牧草被绵羊瘤胃液中的厌氧微生物和酸性胃蛋白酶分解, 第一步中细胞壁碳水化合物被微生物酶分解为可溶性物质; 第二步是蛋白质被盐酸-胃蛋白水解酶分解成为可溶性物质(图 1)。然后, 把不溶的残余物质烘干、灰化, 根据实验过程称重所得数据, 通过公式计算出每种牧草体外消化率。

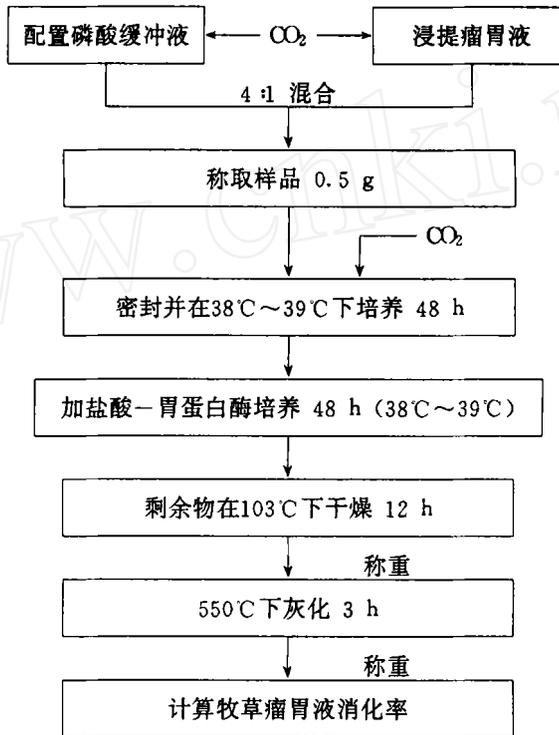


图1 牧草体外消化率测定方法

Fig. 1 Sketch map of method to mensurate herbage vitro digestibility

$$D_{\text{vitro}} = 100 \left[ 1 - \frac{(B - C) 1000}{A(D - E)} \right] \times 100\%$$

其中,  $D_{\text{vitro}}$  是用%表示有机物质的消化率;  $A$  代表加入的干物质克数(g);  $B$  代表烘干后剩余物质和坩埚重(g);  $C$  代表灰化后剩余物质和坩埚重(g);  $D$  代表每 g/kg 风干样品中干物质含量;  $E$  代表每 g/kg 样品干物质中灰分含量。

盐酸-胃蛋白酶溶液: 1L 0.1 mol/L 的盐酸溶液中加入 2 g 胃蛋白酶, 在临做实验之前配制。

### 3 结果与分析

牧草茎、叶比例是影响消化率的重要因素,为了准确比较不同海拔同种牧草的消化率,实验过程中对每一海拔高度的2种牧草茎、叶的体外消化率分别进行测定(每一样品进行3次重复)。统计分析表明牧草的体外消化率与海拔高度之间存在显著的正相关(表1)。

表1 不同海拔莎草科牧草体外消化率

Table 1 *Vitro* digestibility of sedge herbage at different altitudes

物种 Species	海拔(m) Altitude(m)	消化率(%) Digestibility (%)		统计分析 Statistic analyze	
		1999(±ST)	2000(±ST)	1999	2000
矮蒿草叶 (Leaf of <i>Kobresia humilis</i> )	3 800	83.58±3.36	79.26±2.39	$r=0.850$ $P<0.05$	$r=0.926$ $P<0.01$
	3 600	77.21±1.39	76.69±2.86		
	3 400	73.87±2.33	76.97±2.36		
	3 200	75.28±1.06	74.78±2.04		
矮蒿草茎 (Stem of <i>Kobresia humilis</i> )	3 800	66.94±1.43	61.61±2.27	$r=0.894$ $P<0.05$	$r=0.951$ $P<0.01$
	3 600	60.65±2.26	60.51±1.32		
	3 400	—	56.89±3.21		
	3 200	58.49±1.24	56.58±3.06		
黑褐苔草叶 (Leaf of <i>Carex afroscua</i> )	3 800	79.70±2.71	80.74±2.43	$r=0.863$ $P<0.05$	$r=0.897$ $P<0.05$
	3 600	80.01±3.47	75.41±1.53		
	3 400	67.55±1.20	76.72±2.17		
	3 200	68.76±1.09	71.16±2.54		
黑褐苔草茎 (Stem of <i>Carex afroscua</i> )	3 800	65.45±1.87	64.95±2.95	$r=0.851$ $P<0.05$	$r=0.912$ $P<0.05$
	3 600	58.94±2.08	62.81±1.21		
	3 400	—	56.03±1.92		
	3 200	57.60±1.38	56.86±2.41		

1999年测定结果中矮蒿草叶、矮蒿草茎、黑褐苔草叶、黑褐苔草茎的体外消化率与海拔高度的相关系数分别为0.850、0.894、0.863和0.851,显著性检验发现达到极显著水平( $P<0.05$ )。2000年测定结果中矮蒿草叶、矮蒿草茎、黑褐苔草叶、黑褐苔草茎的体外消化率与海拔高度的相关系数分别为0.926、0.951、0.897和0.912,其中黑褐苔草叶、黑褐苔草茎达到显著水平( $P<0.05$ );矮蒿草叶、矮蒿草茎极显著( $P<0.01$ )。2年的实验数据表明,随着海拔高度从3 200 m 上升到3 800 m,矮蒿草、黑褐苔草2种莎草科牧草茎和叶的牧草体外消化率都表现出逐渐增加的趋势(图2、3)。

## 4 讨论

### 4.1 牧草营养组成及反刍动物消化特征

就反刍动物而言,牧草中蛋白质经瘤胃微生物的作用水解成肽和氨基酸,其中一些氨基酸又进一步降解为有机酸、氨和 $CO_2$ ,所产生的氨与一些简单的肽和游离的氨基酸被瘤胃微生物用于合成微生物蛋白质,当这些微生物转移到皱胃和小肠时,它们的细胞蛋白质就被消化吸收。脂肪首先在瘤胃中进行水解,脂肪水解形成甘油和脂肪酸,然后分别进行分解代谢,甘油分解最后生成水和 $CO_2$ ,脂肪酸的分解代谢通过 $\beta$ 氧化的系统过程再分

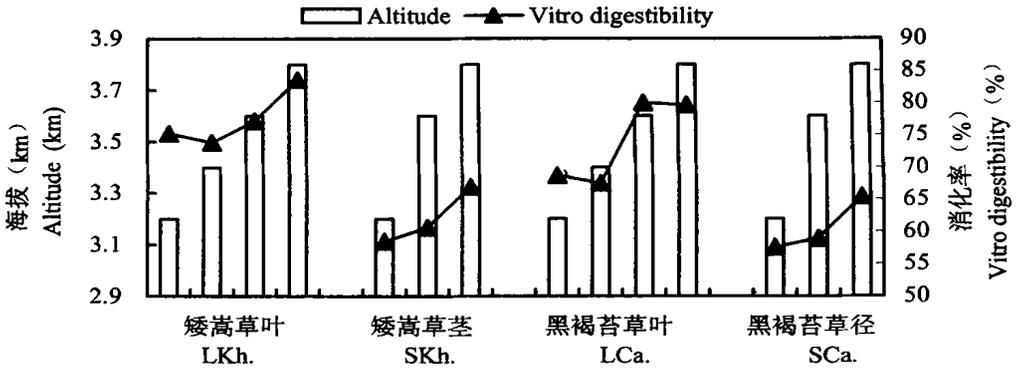


图 2 1999 年不同海拔牧草体外消化率

Fig 2 Vitro digestibility of herbage at different altitudes in 1999

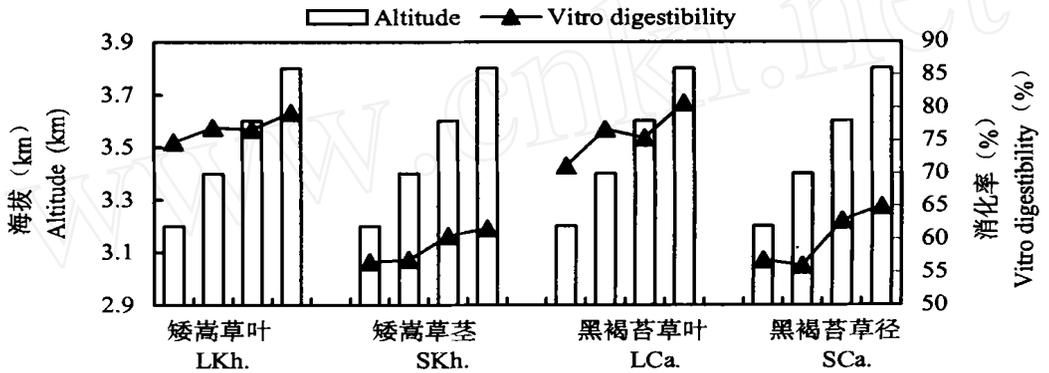


图 3 2000 年不同海拔牧草体外消化率

Fig 3 Vitro digestibility of herbage at different altitudes in 2000

解。碳水化合物中的以各种糖为主的无氮浸出物部分很容易被消化分解;而粗纤维部分中的纤维素可以通过反刍动物瘤胃大量微生物所含的纤维素酶消化分解转变成可利用的有机酸,并由瘤胃壁直接吸收;半纤维素被作用于  $\beta$ 1,4 键的酶水解。由于木质素与许多植物多糖和细胞壁蛋白之间存在着一些牢固的化学键,它与植物纤维镶嵌在一起,使木质素很难与正常消化的酶接触,阻碍化学降解,成为影响消化率的重要因素<sup>[8,9]</sup>。因此,牧草木质素含量变化是造成绵羊对不同海拔牧草消化率差异的主要原因。

#### 4 2 海拔高度与牧草营养含量变化

青藏高原牧草在长期的演化过程中形成一系列生态特征来适应高寒气候环境条件:植株低矮,根系粗壮发达但分布短浅平展,叶片栅栏排列紧密,层数增多,角质膜增厚<sup>[1,10]</sup>;同时,其生理及物质代谢方面同样具有独特的适应特征:蛋白质、脂肪及其一些碳水化合物等营养物质含量的增加,可以增加细胞原生质浓度,从而降低冰点,提高抗寒能力,适应高海拔的寒冷气候<sup>[11]</sup>。所以生活在高海拔地区的植物营养组分中蛋白质、脂肪等可以提高其抗寒能力的营养成分将有所增加。在小麦、苜蓿和马铃薯等植物中已经证实,植物对寒冷生存环境的适应是在低温锻炼过程中蛋白质、碳水化合物、核酸和脂类等代谢物质发生生物化学变化,参与抗冻生理过程,在寒冷环境下起到保护作用<sup>[2,6]</sup>。韩发等

(1997)对青藏高原不同海拔矮嵩草蛋白质、脂肪和淀粉含量的研究发现,随着海拔高度的升高牧草蛋白质、脂肪和淀粉含量呈现非常明显的增加趋势<sup>[6]</sup>。

### 4.3 海拔与牧草消化率

气温的高低与牧草呼吸强度存在明显正相关,气温升高牧草呼吸强度增强,牧草通过光合作用积累的干物质,尤其是可溶的非结构性碳水化合物消耗增加,而难溶的结构性碳水化合物(纤维素、半纤维素、木质素等)的含量就会相对增加,从而造成牧草消化率下降。随着海拔升高,气温下降,牧草呼吸强度相对减弱,粗蛋白、粗脂肪以及可溶的非结构性碳水化合物消耗减少<sup>[12, 13]</sup>,难溶的结构性碳水化合物含量,尤其是木质素含量相对减少,从而有利于牧草的消化分解,因此,随着海拔高度的增加牧草消化率呈现增加趋势。

本研究证实了牧草消化率与海拔高度之间的关联,通过1999年和2000年两年对生长在不同海拔高度2种莎草科牧草的茎、叶体外消化率的测定发现,青藏高原莎草科牧草体外消化率与牧草所生长的海拔高度之间存在明显的正相关关系,随着海拔升高牧草体外消化率也随之增加。

### 参考文献

- [1] 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
- [2] 韩 发, 贲桂英, 师生波. 青藏高原不同海拔矮嵩草抗逆性的比较研究[J]. 生态学报, 1998, 18(6): 654- 659
- [3] 李英年. 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站气候概述[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1998, 9(3): 30- 33
- [4] 周兴民, 王质彬, 杜 庆. 青海植被[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987: 146- 147
- [5] 中国科学院西北高原生物研究所. 青海经济植物志[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987: 736- 758
- [6] 韩 发, 贲桂英, 师生波. 青藏高原不同海拔高度矮嵩草蛋白质、脂肪和淀粉含量的变异[J]. 植物生态学报, 1997, 2: 97- 104
- [7] 刘金祥, 胡自治, 梁 秀, 等. 高山草原绵羊放牧生态及消化代谢系列研究 III 放牧绵羊食入牧草消化动态及其限制性因素分析[J]. 草业科学, 2001, 18(2): 28- 31
- [8] 秦礼让, 马承融, 邓蔼祥, 等. 饲料与营养[M]. 北京: 农业出版社, 1985: 14- 198
- [9] 赵义斌, 胡令浩. 动物营养学[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 1992: 58- 145
- [10] 王为义. 高山植物结构特异性的研究[A]. 高原生物学集刊(第4集)[C]. 北京: 科学出版社, 1985: 20- 30
- [11] 简令成. 植物抗寒性的细胞及分子生物学进展[J]. 细胞生物学进展, 1990, 2: 296- 320
- [12] 张树源, 马章英. 青藏高原夜间低温对几种牧草的生理学影响[A]. 见: 夏武平. 中国科学院西北高原生物研究所海北高寒草甸生态系统定位站论文集: 高寒草甸生态系统[C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982: 52- 57
- [13] ZHAO X Q, ZHOU X M. Ecological basis of alpine meadow ecosystem management in Tibet: Haibei alpine meadow ecosystem research station[J]. *Ambio*, 1999, 28(8): 642- 647.