

文章编号 :1000-4025(2003)09-1605-04

青藏高原 5 种牧草木质素含量及其体外消化率研究^{*}

徐世晓, 赵新全, 孙 平, 赵同标, 赵 伟

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

摘 要 在海拔高度 3 200 m 的中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站选取羊茅(*Festuca ovina*)、早熟禾(*Poa annua*)、荅草(*Koeleria cristata*)以及莎草科的矮嵩草(*Kobresia humilis*)、黑褐苔草(*Carex alrofusca*) 5 种青藏高原重要牧草品种, 分别测定羊茅、早熟禾、荅草、矮嵩草茎、矮嵩草叶、黑褐苔草茎和黑褐苔草叶的木质素含量, 并采用二级离体培养法测定其体外消化率, 比较不同牧草间木质素含量及消化率差异。1999 和 2000 年两年的实验结果表明, 牧草木质素含量与其体外消化率之间为极显著负相关($P < 0.01$)。就同种牧草不同器官而言, 牧草茎的木质素含量明显高于叶, 其降解率较低。3 种禾本科牧草及 2 种莎草科牧草不同牧草品种间木质素含量和体外消化率差异不显著。

关键词 青藏高原 羊茅 早熟禾 荅草 矮嵩草 黑褐苔草 木质素 体外消化率

中图分类号 Q 945.18 S543⁺.9 **文献标识码** A

A study on acid detergent lignin content and digestibility of 5 species herbage in Tibetan Plateau

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

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

Abstract Five species of preponderant herbage in Tibetan Plateau was choosed such as *Festuca ovina*, *Poa annua*, *Koeleria cristata*, *Kobresia humilis*, *Carex alrofusca* at Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research station of Chinese academy of Science, in which altitude is 3 200 m, and then measured the acid detergent lignin content and its *in vitro* digestibility of *Festuca ovina*, *Poa annua*, *Koeleria cristata*, stem of *Kobresia humilis*, leaf of *Kobresia humilis*, stem of *Carex alrofusca*, leaf of *Carex alrofusca* respectively. Compared acid detergent lignin content and *in vitro* digestibility of leaf with those of stem, analyzed correlativity between acid detergent lignin content and *in vitro* digestibility among 5 species of herbage. Get following results through 2 years experiment a negative correlativity exist between herbage acid detergent lignin content and its *in vitro* digestibility ($P < 0.01$); the acid detergent lignin contents of stem greater than that of leaf obviously and its *in vitro* digestibility lower than that of leaf; there no evident difference among 5 different species of herbage on acid detergent lignin and its *in vitro* digestibility.

Key words Tibetan Plateau *Festuca ovina* *Poa annua* *Koeleria cristata* *Kobresia humilis* *Carex alrofusca*; acid detergent lignin digestibility

牧草中的粗纤维含量是影响牧草消化率的主要因素^[1], 但粗纤维所包含成分复杂, 根据反刍动物消

* 收稿日期 2003-03-24 修改稿收到日期 2003-05-05

基金项目 国家基础研究规划项目(G1998040813) 国家“十五”科技攻关项目(2001BA 606-02) 及中国科学院海北高寒草甸生态系统开放站基金部分资助

作者简介 徐世晓(1973-), 男, 青海乐都人, 硕士。

化特征,其中纤维素和半纤维素都可以通过其特定的酶消化和吸收,但木质素由于其特殊的化学结构而难以被消化降解,所以木质素含量的多少直接影响反刍动物对牧草的消化率^[2]。当前,已经有许多对青藏高原牧草蛋白质、脂肪、淀粉、粗纤维等营养含量方面的研究^[3],而缺乏对直接影响牧草消化率的木质素含量的测定。禾本科牧草羊茅(*Festuca ovina*)、早熟禾(*Poa annua*)、苔草(*Koeleria cristata*)以及莎草科的矮嵩草(*Kobresia humilis*)、黑褐苔草(*Carex alrofusca*)是青藏高原重要的优良牧草品种^[4,5]。通过本项实验对青藏高原这5种重要牧草的木质素含量及其藏系绵羊瘤胃液体体外培养后的降解率(体外消化率)差异做一初步研究。

1 材料和方法

1.1 实验样地

实验样地设在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位研究站的站区地势平坦的矮嵩草草甸,位于青藏高原的东北隅,祁连山东段冷龙岭南麓(37°29'~37°45'N、101°12'~101°33'E),海拔3200m,气候具有明显的高原大陆性特点,无明显四季之分,仅有冷、暖二季之别,冷季漫长寒冷而且干燥,暖季短暂凉爽而湿润;气温变幅大^[6],冷空气侵入频繁,强度大,霜冻严重,早霜出现早,晚霜结束晚,全年无霜期仅有一个月左右或无绝对无霜期;降水多集中于5~9月,占全年降水量的80%,牧草生长期130~140d。植被类型主要有高寒灌丛(alpine shrub)、高寒草甸(alpine meadow);在滩地、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^[4]。

1.2 实验方法

1.2.1 样品采集、处理 分别于1999年和2000年8月3日~8日(草盛后期)剪取5种牧草地上部分,采集后的样品先置于105℃烘箱中烘5min,迅速杀死组织,再在70℃下烘干至恒重。牧草茎、叶比例是影响消化率的重要因素,实验过程中羊茅、早熟禾和

苔草3种叶较少的牧草只测定茎,而矮嵩草和黑褐苔草2种叶较多的牧草对茎、叶分别进行测定。样品的处理是影响实验结果准确性的重要方面,烘干后的牧草粉碎成直径小于1mm粉末以增加消化液和洗涤液与样品的接触面积。

1.2.2 木质素的测定 木质素是先用酸性洗涤液煮沸30min,然后再用72%的H₂SO₄煮沸30min后的剩余物。酸性洗涤溶液是0.5mol/L硫酸和十六烷基三甲基溴化铵(CTAB, Cetyl trimethylammonium bromide)配置而成;使用仪器是瑞典生产的1020/1021/1022 Fibertec system M6纤维素测定仪。

1.2.3 消化率的测定 1963年英国营养学家Tilley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^[7,8]。通过瘞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CO₂以营造瘤胃内厌氧微生物生活的无氧环境,加入样品后密封并在38~39℃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,首先细胞壁碳水化合物被微生物酶分解为可溶性物质;其次蛋白质被盐酸-胃蛋白酶水解酶分解成为可溶性物质;然后把不溶性的残余物质烘干、灰化,计算牧草体外消化率^[9]。

3 结果与分析

3.1 牧草木质素含量与体外消化率间的相关关系

羊茅、早熟禾、苔草、矮嵩草茎、矮嵩草叶、黑褐苔草茎和黑褐苔草叶的木质素含量和体外消化率的测定结果表明,牧草木质素百分含量与其体外消化率之间存在负相关关系,1999年测定结果(表1)二者相关系数为-0.8078,达到极显著水平($P < 0.01$);2000年测定结果(表2)二者相关系数为-0.8633,也达到极显著水平($P < 0.01$)。

表1 牧草木质素含量及其体外消化率(1999年)

Table 1 Acid detergent lignin content and in vitro digestibility of herbage (1999)

物种 Species	木质素 ADL (%) ± ST	体外消化率 In vitro digestibility (%) ± ST	相关性分析 Cor. analysis
羊茅 <i>Festuca ovina</i>	14.77 ± 1.74	42.44 ± 2.18	
早熟禾 <i>Poa annua</i>	14.60 ± 1.45	60.77 ± 2.81	
苔草 <i>Koeleria cristata</i>	17.95 ± 1.37	38.95 ± 1.30	
黑褐苔草茎 Stem of <i>Carex alrofusca</i>	14.20 ± 1.30	57.60 ± 1.38	$r = -0.8078$ $* P < 0.01$
黑褐苔草叶 Leaf of <i>Carex alrofusca</i>	7.64 ± 1.90	68.76 ± 1.09	
矮嵩草茎 Stem of <i>Kobresia humilis</i>	11.15 ± 0.71	58.49 ± 1.24	
矮嵩草叶 Leaf of <i>Kobresia humilis</i>	9.03 ± 1.25	75.28 ± 1.06	

表 2 牧草木质素含量及其体外消化率(2000 年)

Table 2 Acid detergent Lignin content and *in vitro* digestibility of herbage (2000)

物种 Species	木质素 ADL (%) ±ST	体外消化率 <i>In vitro</i> digestibility (%) ±ST	相关性分析 Cor. analysis
羊茅 <i>Festuca ovina</i>	11.73 ± 0.54	42.00 ± 1.42	
早熟禾 <i>Poa annua</i>	12.37 ± 0.41	61.93 ± 2.73	
苔草 <i>Koeleria cristata</i>	19.97 ± 0.39	40.40 ± 2.41	
黑褐苔草茎 Stem of <i>Carex alrofusca</i>	12.79 ± 0.50	56.86 ± 2.41	$r = -0.8633$ $P < 0.01$
黑褐苔草叶 Leaf of <i>Carex alrofusca</i>	7.77 ± 0.37	71.16 ± 2.54	
矮嵩草茎 Stem of <i>Kobresia humilis</i>	13.10 ± 0.44	56.58 ± 3.06	
矮嵩草叶 Leaf of <i>Kobresia humilis</i>	8.02 ± 0.76	74.78 ± 2.04	

注(Note) : * $n = 7$, $r = 0.7977$, $P = 0.01$

3.2 茎、叶木质素含量及其体外消化率比较

牧草茎、叶比例直接影响牧草消化率,矮嵩草和黑褐苔草营养器官中叶片占很大比例,为了实验数据的可比较性,实验过程中对矮嵩草和黑褐苔草 2 种牧草茎、叶的木质素含量和体外消化率分别进行测定。1999 和 2000 年两年测定结果的平均来看,黑

褐苔草茎木质素含量比黑褐苔草叶高出 5.71 个百分点,体外消化率低 12.73 个百分点。矮嵩草茎木质素含量比矮嵩草叶高 6.6 个百分点,体外消化率低 17.49 个百分点,茎、叶木质素含量及体外消化率差异显著(图 1)。

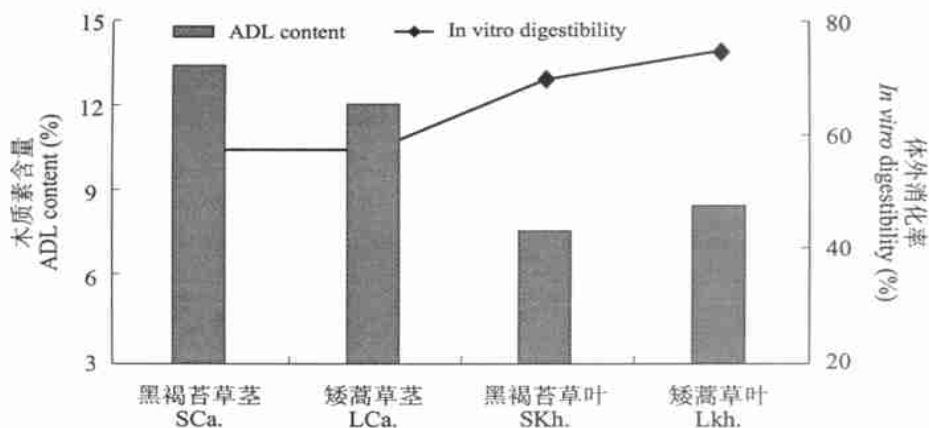


图 1 牧草茎、叶木质素含量及其体外消化率比较

Fig 1 A comparison of herbage ADL content and digestibility between stem and leaf

SCa ,LCa,SKh ,LKh means stem of *Carex alrofusca* leaf of

Carex alrofusca, stem of *Kobresia humilis*, leaf of

Kobresia humilis respectively in figure 1.

此外,就 5 种不同牧草品种间相同营养器官而言,木质素含量和体外消化率差异不明显。不论是禾本科 3 种牧草及其莎草科 2 种牧草茎的木质素百分含量及其体外消化率,还是 2 种莎草科牧草叶的木质素及体外消化率,差异均不显著。

4 讨论

4.1 反刍动物消化特征

就反刍动物而言,牧草干物质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内,它们的细胞蛋白质就被消化吸收。牧草中的非蛋白氮化合物在瘤胃中大多数都易被降解。脂肪水解形成甘油和脂肪酸,然后二者分别进行分解代谢,甘油分解最后生成水和 CO_2 [2]。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 β -1,4 键的酶水解。而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,

使木质素很难能与使其正常消化的酶接触,所以木质素对化学降解有很大的阻力,木质素含量就成为影响牧草消化率的重要因素,其含量也更能直接反映反刍动物对牧草的消化降解程度^[1,2]。

4.2 青藏高原低温对牧草营养含量的影响

高寒气候环境下牧草在长期的演化过程中形成一系列生理及物质代谢适应特征,在小麦、苜蓿和马铃薯等植物中已经得到证实,植物对低温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,参与抗冻性生理过程,在寒冷环境下起到保护作用^[10]。蛋白质、脂肪及其一些碳水化合物等营养物质含量增加,提高细胞原生质浓度,从而降低冰点,提高抗寒能力,适应高海拔的寒冷气候^[11]。另外,青藏高原昼夜温差大,在牧草生长季节里夜间温度(10℃以下)明显低于白昼(20℃以上),夜间低温降低了呼吸消耗,同时提高了可溶性糖的含量,可溶性糖含量的

增加,不仅可以提高植物细胞的渗透浓度和渗透压,而且还可以对植物细胞原生质胶体遇冷凝固有一定的保护作用^[11],从而也增强了植物的抗寒能力,所以低温导致牧草呼吸强度减弱,有利于一些可溶性的非结构性碳水化合物含量增加,而纤维素、半纤维素、木质素等结构性碳水化合物含量则相对降低,从而演化形成青藏高原牧草特有的高蛋白、高脂肪、高无氮浸出物与低纤维含量的“三高一低”特征^[3~5],有利于反刍动物对牧草的消化。

随着全球气候变暖趋势的不断加剧,青藏高原气候也呈现出显著的变暖趋势,其升温幅度明显高于全球和全国平均,而且最低气温的增加幅度明显高于最高气温的增加幅度^[12~14]。气温的不断升高,尤其是夜间温度的升高将会增加牧草呼吸强度,不利于牧草的可溶性物质积累,而牧草木质素等结构性碳水化合物含量增加,从而降低牧草消化率,不利于反刍动物对牧草的消化。

参考文献:

- [1] M E 恩斯特格, C G 奥伦廷 饲料与营养[M]. 北京: 农业出版社, 1985: 14- 198
- [2] P 麦克唐纳, P A 爱德华兹, J F D 格林霍夫 动物营养学(第四版)[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 1992: 1- 145
- [3] HAN F(韩发), BEN G Y(贲桂英), SHI S H B(师生波). Contents of protein, fat and starch of *Kobresia humilis* plants grown at different altitudes in Qinghai-Xizang plateau[J]. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 1997, (2): 97- 104(in Chinese).
- [4] 周兴民, 王质彬, 杜庆 青海植被[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987: 145- 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] Li Y N(李英年). Summarize on climate of Haibei research station of alpine meadow ecosystem the Chinese Academy of science[J]. *Development of Research Network for Natural Resources, Environment and Ecology*(资源生态环境网络研究动态). 1998, 9(3): 30- 33(in Chinese).
- [7] Tan Z H L(谭支良), CHEN H P(陈惠萍), XING T X(邢廷铤). Study on the degradation characteristics of straw fibre in rumen[J]. *Chinese Journal of Animal Science*(中国畜牧杂志), 1994, 30(3): 8- 11(in Chinese).
- [8] LIU J X(刘金祥), HU Z Z H(胡自治), LIANG X(梁秀), et al. A serial study of grazing ecology and digestibility and metabolism of sheep on alpine dynamics and the restrictive factors of the diet digestibility by grazing sheep[J]. *Pratacultural Science*(草业科学), 2001, 18(2): 28- 31(in Chinese).
- [9] XU S H X(徐世晓), ZHAO X Q(赵新全), SUN P(孙平), et al. Study on simulated in vitro digestibility of 2 species sedge family herbage grown at different altitude[J]. *Acta Botanical Boreali-Occidentalia Sinica*(西北植物学报), 2002, 22(5): 191- 196(in Chinese).
- [10] 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.
- [11] HAN F(韩发), BEN G Y(贲桂英), SHI S H B(师生波). Comparative study on the resistance of *Kobresia humilis* grown at different altitudes in Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 1998, 18(6): 654- 659(in Chinese).
- [12] LIU X D(刘晓东), HOU P(侯萍). Relationship between the climate warming over the Qinghai-Xizang plateau and its surrounding areas in recent 30 years and the elevation[J]. *Plateau Meteorology*(高原气象), 1998, 17(3): 245- 249(in Chinese).
- [13] TANG H Y(唐红玉), LI X Y(李赐福). Preliminary analysis on maximum and minimum temperature change in Qinghai plateau during recent 40 years[J]. *Plateau Meteorology*(高原气象), 1999, 18(2): 230- 235(in Chinese).
- [14] 汤懋苍, 程国栋, 林振耀 青藏高原近代气候变化及对环境的影响[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998: 139- 175