小嵩草高寒草甸的土壤养分因子及水分含量对牦牛放牧率的响应
II冬季草场土壤营养因子及水分含量的变化

董全民[1,2], 赵新全[1], 李青云[2], 马玉寿[2], 李有福[3], 李发吉[3]
(1. 中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810002; 2. 青海省畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810003
3. 青海省果洛州草原站, 青海 玛沁 814000)

摘 要: 牦牛放牧试验结果表明: 随着放牧率的增加, 冬季草场不同土层有机质、有机碳、全氮的含量和 C/N 值下降, 它们的含量与放牧率呈显著的线性回归关系, 全磷和速效氮的含量与放牧率呈显著的二次回归关系, 各土壤营养因子平均含量与放牧率也有类似的关系; 当放牧率分别达到 0.81头 hm^{-2}和 1.00头 hm^{-2}, 1.03头 hm^{-2}和 1.03头 hm^{-2}, 1.36头 hm^{-2}和 1.30头 hm^{-2}时, 0～5cm, 5～10cm, 10～20cm土层全磷和速效氮的含量分别依此达到最大, 若放牧率继续增强, 它们的含量依此开始减小; 而且 0～20 cm土层全磷和速效氮平均含量达到最大的放牧率分别是 1.03头 hm^{-2}和 1.06头 hm^{-2}。放牧率和土壤深度的交互作用对土壤各养分因子含量的影响极显著 ($P<0.01$); 放牧率对各土壤层含水量有极显著的影响 ($P<0.01$), 不同年度间同一土壤层含水量的差异极显著 ($P<0.01$)。

关 键 词: 牦牛放牧率; 小嵩草高寒草甸; 冬季草场; 土壤养分因子; 养分含量; 土壤水分含量
中图分类号: S158; S812.8 **文献标识码**: A **文章编号**: 0564-3945(2005)04-0493-08

草地生态系统中植被与土壤之间构成一个相互作用、相互影响、相互制约、协调发展的统一体。土壤退化会引起植被的变化, 而植被的演替也会引起土壤性状的改变。土壤最本质的特征是具有肥力, 而土壤养分是组成肥力的重要因素之一。同时, 土壤养分元素 (Nutrient element)的形式、分布以及它们的相对含量等特征是生物功能发挥正常的保证。研究植物营养元素的供应、吸收、分配及在植物新陈代谢过程中的功能, 对植物的生长发育、演化、生物产量的形成, 植物与环境资源、消费者与生产者之间的营养平衡都有重要的意义。

青藏高原是中国主要的畜牧业基地, 高寒草甸是其主要的草地类型。由于青藏高原地理位置特殊、气候条件复杂, 从而造成高寒草甸生态系统的脆弱性和抗干扰能力差的特点。植被一旦遭受破坏, 靠其自然恢复不仅周期长, 而且极为困难。另外, 高寒草甸放牧生态系统中的植物组成、草地生产力等受放牧的影响均已发生变化[1-2], 特别是近几年来, 由于家畜和人口的急剧增加, 草场超载过牧, 加之不合理的放牧率和放牧体系以及鼠虫害危害等, 导致草地严重退化、沙化, "黑土型"退化草地面积逐渐扩大, 草地生态环境日趋恶化[3]。

实验旨在对不同放牧率下高寒草甸土壤养分含量的研究, 确定合理的放牧率, 为青藏高原小嵩草 (*Kobrecia parva*)高寒草甸退化草场的利用、保护和治理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地选在青海省达日县窝赛乡, 位于北纬 99°47′36″, 东经 33°37′20″, 海拔在 4000m以上, 气候寒冷, 年平均气温是 -1.2℃, 最冷月 1月的平均气温为 -12.9℃, 最热月 7月的平均气温为 9.1℃, ≥0℃的积温为 1081℃, ≥5℃的积温为 714.9℃, 生长季为 4个月左右, 无绝对无霜期。年平均降雨量是 569mm, 多集中在 5-9月份, 年蒸发量 1119.07mm, 雨热同季, 有利于牧草生长。土壤为高山草甸土, 草地为已发生退化的小嵩草 (*Kobrecia parva*)高寒草甸, 它与高寒草甸群落相联, 其基本成土过程是生草过程, 并以剖面上部植物根系絮结形成致密草皮为其主要特征。

1.2 试验设计

试验期为 1998年 6月 28日至 2000年 5月 30日。夏季放牧从 6月 1日至 10月 31日, 然后转入冬季草场放牧至第二年 5月 31日, 周而复始。试验分四个处理, 分别是轻度放牧 (牧草利用率为 30%)、中度放牧 (牧草利用率为 50%)、重度放牧 (牧草利用率为 70%)和对照 (牧草利用率为 0)。每个处理有四头 2.5岁、体重为 100±5kg阉割过的公牦牛进行实验, 所有牦牛在实验前投药驱虫。根据草场地上生物量和冬季牧草营养的损伤率、牦牛的理论采食量和草场面积确定放牧率 (表 1)。

收稿日期: 2004-04-21
基金项目: 青海省"九·五"攻关项目 (编号 96-N-112)和国家"十·五"攻关项目 (编号 2001BA606A-05)
作者简介: 董全民 (1972-), 男, 甘肃天水人, 助理研究员, 在读博士。主要从事草地生态及青藏高原"黑土型"退化草地的恢复与重建工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 放牧率试验设计

Table 1 Design of grazing trial

处理 Treatment	试验用牛 (头) The number of trial yaks	草地面积 (hm^2) Area of every plot (hm^2)	放牧率 (头 hm^{-2}) Stocking rates (heads ha^{-1})
轻度 Light grazing	4	5.19	0.77
中度 Moderate grazing	4	3.09	1.29
重度 Heavy grazing	4	2.21	1.81
对照 Control	0	1.0	0

1.3 样品的采取和分析方法

1.3.1 土样的采取 在每个处理的围栏内按对角线选定三个具有代表性的固定样点,每年 8月底在每个样点上各取 5个重复土样 (0.25m ×0.25m),共计 15个样方,采样深度为 0～5cm,5～10cm,10～20cm,在 100℃的恒温箱烘干至恒重,测量不同土壤深度的含水量;1999年 8月 26日在每个样点上各取 5个重复土样,采样深度也为 0～5cm,5～10cm,10～20cm,供分析用。

1.3.2 分析方法 土壤有机质用重铬酸钾法测定。土壤全氮用重铬酸钾 -硫酸消化法测定。土壤速效氮用蒸馏法测定。土壤全磷用 H_2SO_4 - $HClO_4$ 消煮 -钼锑抗比色定量。土壤速效磷用 $NaHCO_3$ 法测定。

1.4 数据分析

用 Excel2000和 SPSS(11.0)软件在计算机上进行数据的统计、分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同土层各土壤养分因子含量的响应

不同土壤层有机质、有机碳、全氮和 C/N值的含量随放牧率的增加而减小,全磷和速效氮的含量呈曲线变化 (图 1,表 2)。方差分析表明,土壤层深度对各

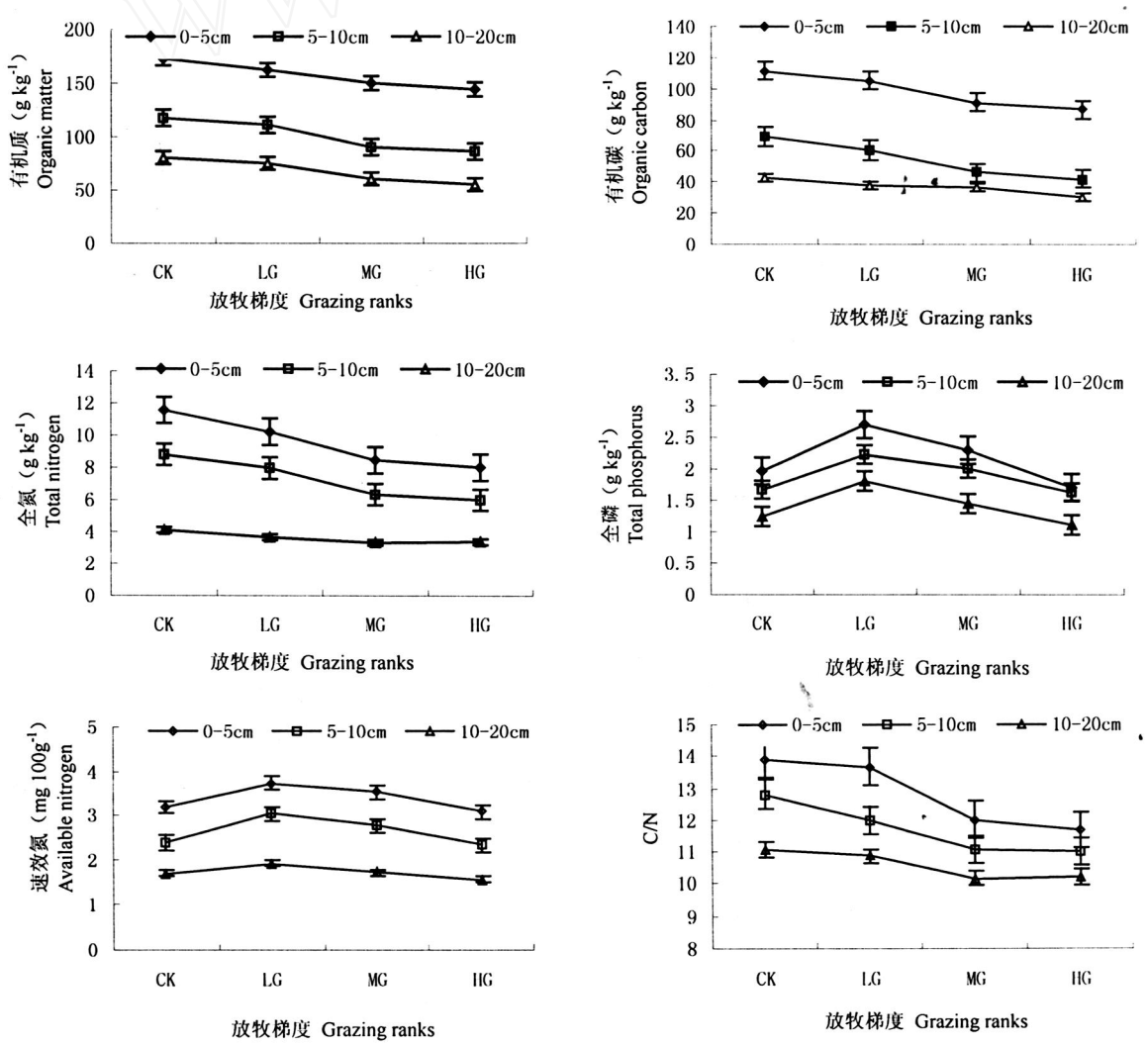

图 1 不同土层各土壤养分因子含量随放牧率的变化

Fig. 1 Changes of soil nutrient contents in different soil layers with stocking rates

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

养分因子含量的影响极显著 ($P<0.01$),这是土壤养分分布的固有特征;放牧率对各土层全氮含量的影响显著 ($P<0.05$),对其它养分因子含量的影响极显著 ($P<0.01$),而且放牧率和土层深度的交互作用对各土层养分因子含量的影响极显著 ($P<0.01$) (表 3)。进一步做新复极差分析,在不同放牧率下,0～5cm土层有机质、全氮、全磷和速效氮的含量极显著地高于 5～10cm和 10～20cm土层 ($P<0.01$),5～10cm土层的含量极显著地高于 10～20cm ($P<0.01$);在中度放牧下,有机碳 0～5cm层的含量极显著地高于 5～10cm和 10～20cm ($P<0.01$),但 5～10cm和 10～20cm土层的含量之间差异不显著 ($P>0.05$),其它放牧条件下有机碳含量的变化与其它养分因子一致。在不同土层上,对照组和轻度放牧组有机质、有机碳和全氮的含量极显著地高于中度和重度放牧组 ($P<0.01$);对照组和中度放牧组全磷的含量与轻度和重度放牧组之间差异极显著 ($P<0.01$);对照组和重度放牧组速效氮的含量与轻度和中度放牧组之间差异极显著 ($P<0.01$);另外,在不同放牧处理和土层中,速效磷的含量均很小 (小于 $1mg\ kg^{-1}$) (表 2)。这和关世英、王启基、李香真等人的结论有所不同[4-7]。

表 2　不同放牧率下各土层养分因子含量的变化 *

Table 2　Changes of soil nutrient factors in the different soil layers under stocking rates (Units of OM, OC, TP and TN are g/kg, AN and AP for mg/100g) *

土壤养分因子 Soil nutrient factors	放牧梯度 Grazing ranks	土壤层深度 The depth of soil stratums (cm) 0～5cm ($X_1 \pm S_1$)	5～10cm ($X_2 \pm S_2$)	10～20cm ($X_3 \pm S_3$)
有机质 ($g\ kg^{-1}$)	CK	173.12 ±78.09Aa	117.98 ±38.99b	80.36 ±29.12Ca
	LG	162.2 ±67.12Ab	111.33 ±29.98Ba	75.03 ±23.46Ca
	MG	149.77 ±56.12Bc	90.23 ±33.01Cc	60.16 ±30.10Dd
	HG	143.96 ±41.67Bc	86.12 ±29.61Cc	54.8 ±19.99Dc
有机碳 ($g\ kg^{-1}$)	CK	111.03 ±23.67Aa	68.92 ±22.21Ba	42.91 ±21.01Cc
	LG	105.19 ±33.17Aa	60.79 ±29.71Ba	37.97 ±13.92Cb
	MG	90.99 ±35.87Bb	46.09 ±15.20Cb	37.15 ±17.89Cb
	HG	86.98 ±33.71Bb	42.23 ±14.10Cb	30.49 ±13.71Dd
全氮 ($g\ kg^{-1}$)	CK	11.56 ±3.90Aa	8.81 ±2.01Bb	4.11 ±2.01Dc
	LG	10.22 ±2.91Aa	7.98 ±3.12Bb	3.67 ±1.97Dc
	MG	8.47 ±2.07Ab	6.33 ±2.09Bc	3.33 ±1.52Dc
	HG	8.03 ±1.98Ab	5.99 ±2.51Bc	3.38 ±1.17Dc
全磷 ($g\ kg^{-1}$)	CK	2.7 ±1.01Aa	2.23 ±1.00Bb	2.01 ±0.99Cc
	LG	1.97 ±1.10Bb	1.67 ±0.71Cc	1.04 ±0.51Db
	MG	2.3 ±0.91Aa	2.01 ±1.13Bb	1.45 ±0.71Cd
	HG	1.71 ±1.01Bb	1.63 ±0.19Cc	1.01 ±0.19Db
速效氮 ($g\ 100g^{-1}$)	CK	3.19 ±1.67Bb	2.39 ±1.07Cd	1.70 ±0.73Dd
	LG	3.73 ±2.00Aa	3.04 ±1.11Bb	1.91 ±0.76Cc
	MG	3.53 ±1.56Aa	2.77 ±0.91Bc	1.71 ±0.83Cc
	HG	3.09 ±1.49Bb	2.33 ±1.08Cd	1.56 ±0.81Dd
速效磷 ($g\ kg^{-1}$)	CK	<0.1	<0.1	<0.1
	LG	<0.1	<0.1	<0.1
	MG	<0.1	<0.1	<0.1
	HG	<0.1	<0.1	<0.1
C/N	CK	13.91Aa	12.82Bb	11.08Cc
	LG	13.67Aa	11.98Bb	10.87Cc
	MG	12.01Bb	11.05Cc	10.17Dd
	HG	11.69Bb	10.99Cc	10.22Dd

* X:平均值,S:标准差.对于相同土壤营养因子,不论行或列,大写字母不同者为差异极显著,小写字母不同者为差异显著,大小写字母均相同者为差异不显著。

表 3　放牧率和土壤深度对土壤各营养因子养分含量的影响

Table 3　Effects stocking rates and the depth on content of soil nutrient factors

土壤养分因子 Soil nutrient factors	影响因子 Impact factors	平方和 SS	变异系数 df	F值 F-value	显著性检验 Significance
有机质	放牧强度 (Sr)	1644.615	3	98.8300	**
	土壤深度 (Ds)	16406.46	2	1478.8130	**
	Ds×Sr	1121.9871	6	43.6531	**
有机碳	放牧强度 (Sr)	813.676	3	13.1061	**
	土壤深度 (Ds)	8018.145	2	193.7253	**
	Ds×Sr	214.8832	6	17.0917	**
全氮	放牧强度 (Sr)	10.9802	3	7.94012	*
	土壤深度 (Ds)	71.9831	2	78.0780	**
	Ds×Sr	7.8104	6	10.0121	**
全磷	放牧强度 (Sr)	1.3726	3	35.6758	**
	土壤深度 (Ds)	1.2891	2	50.2580	**
	Ds×Sr	0.2914	6	11.0912	**
速效氮	放牧强度 (Sr)	0.5819	3	14.4241	**
	土壤深度 (Ds)	5.55615	2	206.7905	**
	Ds×Sr	2.2300	6	29.7001	**
C/N	放牧强度 (Sr)	5.8988	3	14.1211	**
	土壤深度 (Ds)	9.9906	2	35.8743	**
	Ds×Sr	2.0228	6	17.0012	**

有机质的 C/N值随放牧率和土层深度的增加而减小 (图 1,表 2)。因为冬季草场在夏秋季节不放牧,而只在冬春季节放牧,因此 8月份所测土壤营养和植被特征的差异只能间接反应冬春季节牦牛对草地的利用情况。随放牧率的提高,牦牛对牧草的利用率增加,草地的地上现存量减小,也即返还于放牧生态系统中的物质和能量就减少;同时,土壤容重、硬度、孔隙度、毛管持水量等与土壤压实作用有关的物理指标均下降[8,9],这将影响土壤 N、P、K的矿化速度和植物有机体对养分物质的吸收效率以及土壤通气及养分状况、土壤微生物数量;土壤微生物越少,它们对土壤腐殖质和动植物残体的分解效率就越低;地上现存量越少,土壤微生物分解返还于土壤的营养物质就越少,土壤养分状况就越差,C/N值越小[10,11,12,13]。

随着放牧率的提高,牧草的利用率增加,地上现存量减小,第二年牧草返青后,由于牧草的自我调节,牧草快速生长,补偿和超补偿能力增强,并进行营养繁殖或有性繁殖 (资源胁迫)[14],土壤营养物质被逐渐消耗,C/N降低。另一方面,放牧率越低,地上现存量越多,牧草生长季节土壤有机质的分解和植物有机体的加入过程均比较强烈,植物的吸收量又相对少;放牧率

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

越高，地上现存量越少，土壤有机质的分解和植物有机体的加入过程均比较弱，植物的吸收量又相对多，有机碳、全氮和 C/N 值下降[15]；当下降到一定程度时，微生物固持的氮会重新释放出来，如果这些氮不能被牧草大量吸收，就会残存于土壤中，如遇上适宜的条件（高 pH、多的降水、嫌气的土壤环境等），就会发生氨挥发、硝化 - 反硝化及淋溶损失，导致土壤氮素进一步减少[16,17]。但是，土壤性质的变化比较植物的变化滞后，研究放牧率对氮素的影响应从短期和长期效应两方面来评价。在短期内，适度放牧可加速氮循环，草地生态系统中总氮量变化不大[13,12,18,19]，但随着放牧强度的提高和放牧时间的持续，草地植被群落发生变化，全氮和速效氮的含量也发生变化[20]。土壤全磷属土壤较为稳定的一类指标，它的含量主要取决于土壤母质的类型及质地，但它的含量也与土壤有机磷的净矿化作用、土壤磷素的微生物和非生物固定作用有关[15,21,22]。由于试验区气候寒冷，土体内有机磷的净矿化作用、土壤磷素的微生物和非生物固定作用都比较弱，导致土壤磷素，特别是速效磷的含量比较低，因此土壤磷素是限制植物生长的瓶颈[21,23]。

土壤速效性养分主要来源于有机质的矿质化，其含量受有机质本身 C/N、温度、湿度等诸多因素的影响，易变性强；另一方面也可能是随着放牧率的逐渐增强，植物有机体、土壤动物、土壤微生物等分别通过光合作用、豆科牧草的固氮作用、分解动植物残体和牲畜粪便以及分解和转化有机质和矿物质的重要作用，通过自我调节对逆境的“胁迫反应”（资源亏损胁迫）[4,11,13,14,21,22]，或是其它原因，有待于做进一步研究。在高寒草甸生态系统中，放牧率对各土壤因子含量的影响与植物的根系、土壤动物和微生物之间的效应关系，尚需系统、深入地进一步研究和探讨[24,25,26]。

2.2 土壤各养分因子平均含量的响应

随着放牧率的提高，土壤各养分因子的平均含量随放牧率的变化趋势与各土层养分因子含量的变化相似（图 2）。随着放牧率的增加，不同土壤层全磷和

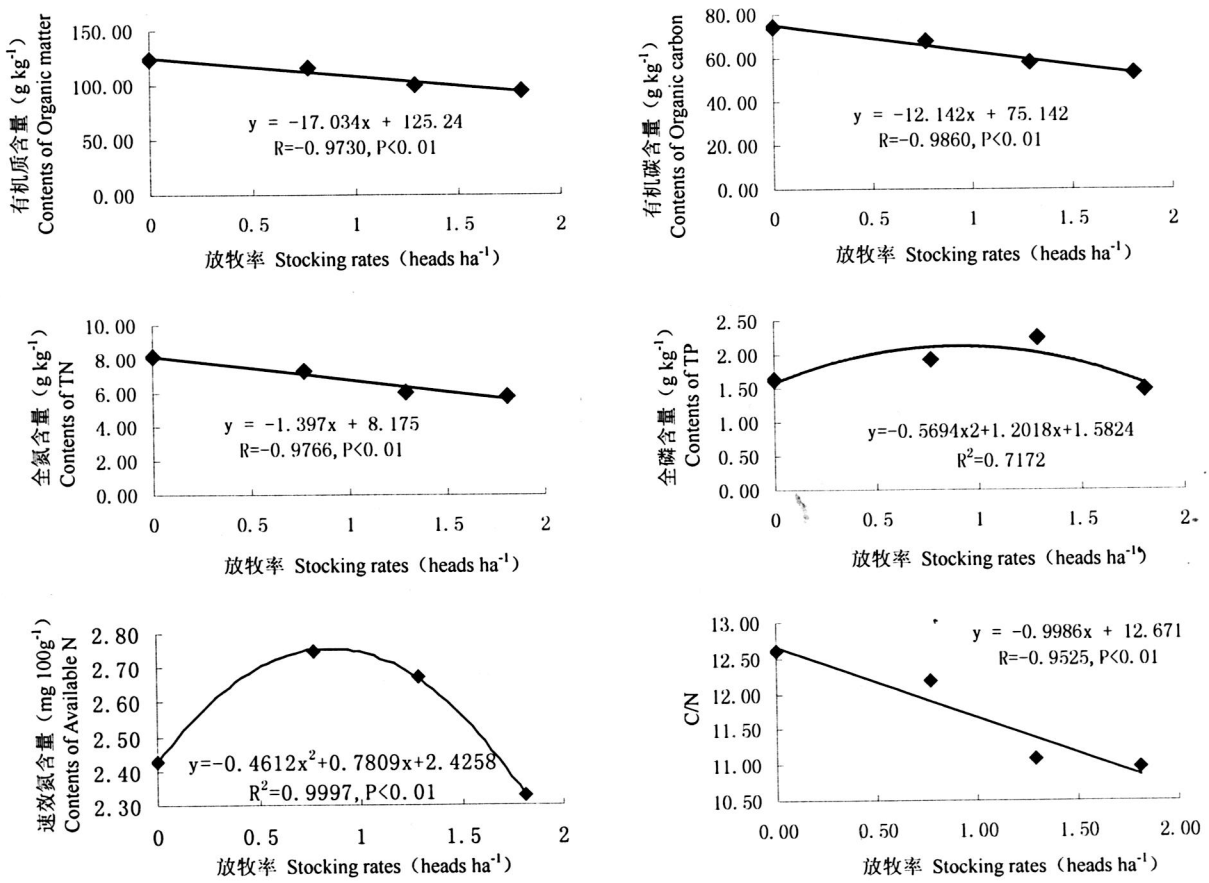

图 2 不同放牧率下土壤养分因子平均养分状况的变化

Fig. 2 Average nutrient status under the different stocking rates

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

速效氮的含量逐渐增加,当放牧率 X分别达到 1.06头/hm²和 1.08头/hm²,土壤全磷和速效氮的平均含量分别达到最大;若放牧率继续增强,它们的平均含量依此减小,而且这两个值比较接近中度放牧(1.29头/hm²),符合"中度干扰理论"[27]。土壤性质的变化比较植物的变化滞后,由于这部分库容量大,且受到的影响是间接的,因此研究放牧率对土壤养分因子的影响,在短时间内并不能研究清楚各养分因子与放牧率之间的确切变化关系。李香真等人对内蒙古草原的研究结果表明,氮素是限制植物和微生物生长的重要因素[7,20];王启兰、张金霞等人的研究结果表明,高寒草甸土壤的氨化作用和反硝化作用很强,引起氮素损失,限制了土壤肥力的提高[13,18,19];曹广民,鲍新奎等认为:磷的净矿化作用、微生物和非生物固定作用会影响土壤的供磷能力和植物的营养状况[11,21,22]。同时,由于试验区气候寒冷,土体内有机磷的净矿化作用、土壤磷素的微生物和非生物固定作用都比较弱,导致土壤磷素,特别是速效磷的含量比较低。本实验中全磷和速效氮的变化是因为小嵩草高寒草甸磷素和氮素缺乏所致,还是试验时间不够长,它们的含量对放牧率的响应未能反应其真实变化规律,尚需进一步的研究和探讨,以探明土壤各养分因子含量随放牧率变化的机理及其规律。

2.3 放牧率与各土层养分因子含量之间的关系

建立简单的数学模型,得出不同土层各营养因子与放牧率之间的回归关系为:

$$Y = ax^2 + bx + c$$

Y代表土壤各养分因子的含量,x为放牧率,其中a(a≤0)、b和 c为常数,反映草地的土壤养分状况,它们的值越大,草地的土壤养分状况越好。

表 4　不同土壤深度上放牧率与土壤各养分因子的含量之间的回归方程

Table 4　Regression equations between stocking rates and soil nutrient factors in the different soil layers

土壤养分因子 Soil nutrient factors	土层深度(cm) Depth of soil stratums (cm)	回归方程(Y = bx + c) Regression equations			相关系数 R或 R² Correlative coefficients	显著性检验 Significance
		参数 a	参数 b	参数 c		
有机质	0～5	0	19.4910	190.24	-0.9951	**
Organic matter	5～10	0	-13.6680	125.59	-0.9366	*
	10～20	0	-13.3550	92.475	-0.9943	**
有机碳	0～5	0	-14.6350	120.14	-0.9486	**
Organic carbon	5～10	0	-9.0770	74.2	-0.9461	*
	10～20	0	-7.4080	49.65	-0.9973	**
全氮(g/kg)	0～5	0	-1.7340	13.155	-0.9825	**
Total nitrogen	5～10	0	-1.3110	9.805	-0.9658	**
	10～20	0	-0.5530	4.755	-0.9718	**
全磷(g/kg)	0～5	-0.9489	1.5432	1.9896	0.8652(R^2)	*
Total phosphorus	5～10	-0.5593	1.1525	1.6819	0.8713(R^2)	*
	10～20	-0.4028	1.0919	1.263	0.7065(R^2)	ns
速效氮(mg/100g)	0～5	-0.6865	1.1749	3.198	0.8881(R^2)	*
Available nitrogen	5～10	-0.6472	1.3322	2.4049	0.7673(R^2)	*
	10～20	-0.1547	0.4010	1.7121	0.6840(R^2)	ns

回归方程表明,不同土壤有机质、有机碳和全氮的含量与放牧率成显著的负相关关系,全磷和速效氮的含量与放牧率呈显著的二次回归关系,它们的回归方程如表 4。随着当放牧率的逐渐增强,不同土壤层全磷和速效氮的含量逐渐增加,当 $x = -b/2a$时,即当放牧率 X分别达到 0.81头 hm^{-2}和 1.00头 hm^{-2},1.03头 hm^{-2}和 1.03头 hm^{-2},1.36头 hm^{-2}和 1.30头 hm^{-2}时,0～5cm,5～10cm,10～20cm土壤层全磷和速效氮的含量分别依此达到最大;若放牧率继续增强,各土壤层全磷和速效氮的含量依此开始减小,而且 10～20cm土壤层全磷和速效氮的含量开始减小的放牧率均接近中度放牧(1.29头 hm^{-2}),因此本试验结果也支持"中度干扰理论"[27],即中度放牧干扰能维持高的速效氮的含量。这是因为随着放牧率逐渐接近中度放牧时,植物有机体、土壤动物、土壤微生物等分别通过光合作用、豆科牧草的固氮作用、分解动植物残体和牲畜粪便以及分解和转化有机质和矿物质的重要作用,通过自我调节对逆境的"胁迫反应"(资源亏损胁迫)[14],土壤速效氮的含量达到最大;但随着放牧率继续提高,植物体的补偿和超补偿性生长作用增

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

强[14,30],以补偿冬季牦牛对牧草的过度采食,土壤营养被大量消耗(特别是土壤的有效成分),导致土壤速效氮的含量下降。土壤全磷属土壤较为稳定的一类指标,它的含量主要取决于土壤母质的类型及质地,但它的含量也与土壤有机磷的净矿化作用、土壤磷素的微生物和非生物固定作用有关。在适宜的水热条件下(35℃,相对持水量为 70%),可发生土壤有机磷的净矿化作用,而且其净矿化作用随土壤类型而异,且表层大于下层[8]。微生物是土壤磷的消耗者和供应者,也是磷素转化的主要因素,在自然条件下,这两种变化过程(磷的固定和磷的释放)在土体内同时存在,但在不同的土壤条件下,两种变化过程的相对速率不同,结果出现微生物磷素的净固定或净释放过程,其速率也有相应的变化[22]。而土壤磷素的非生物与微生物固定作用和净矿化作用同时存在,其固定的数量、强度和速率与土壤性质、成份和环境条件有关[11,22]。随着放牧率逐渐接近中度放牧时,植物体和微生物通过自我调节(资源亏损胁迫)[14],磷的净矿化作用、微生物和非生物固定作用增强,土壤全磷的含量也逐渐增加直至最大,但随着放牧率继续增加,这种调节作用减弱,植物体补偿和超补偿性生长作用增强[14,30],植物对有效磷的消耗增加,进而导致土壤全磷的含量下降。

2.4 土壤水分的响应

随着放牧率的增加,各土层水分含量的变化呈下降趋势,且土层越深,变化越不明显(图 3,表 5)。方差分析表明:同一年度,放牧率对不同土层含水量的影响极显著($P<0.01$);0～5cm土层年度间含水量的差异极显著($P<0.01$),5～10cm差异显著($P<0.05$),10～20cm差异不显著($P>0.05$);放牧率和放牧时间、放牧率和土层深度的交互作用对各土层含水量的影响极显著($P<0.01$)(表 5)。这是因为在土壤表面(0～5cm),随放牧率逐渐增加,土壤容重和坚实度增加,导致毛管持水量下降,土壤总孔隙度减小,从而使水分含量明显下降[9,10,28,29];但随着放牧率继续增加,土壤容重和坚实度进一步增大,毛管持水量下降土壤总孔隙度继续减小,蒸发量相对增加,含水量继续下降。10～20cm土层上,土壤容重和毛管持水量影响不大,含水量减小缓慢。

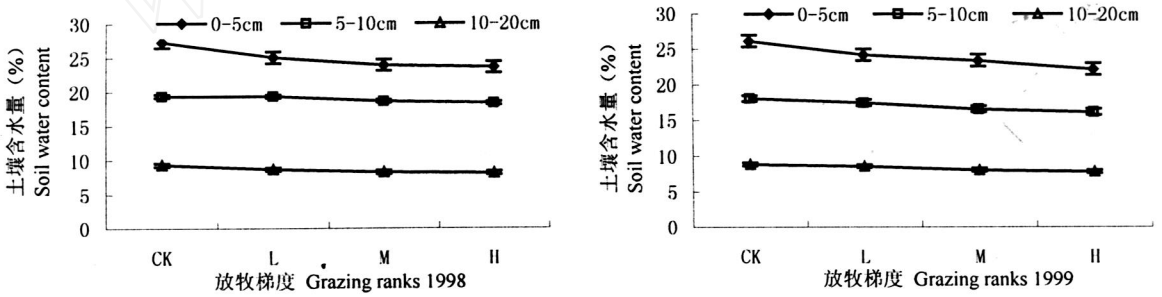

图 3 不同土层土壤水分含量的变化

Fig. 3 Changes in soil water contents for different soil layers with stocking rates

表 5 不同放牧率下各土层含水量的方差分析

Table 5 ANOVA of the soil water contents with stocking rates

土层深度 The depth of soil stratums	影响因子 Impact factor	平方和 SS	变异系数 df	F值 F - value	显著性检验 Significance
0～5cm	放牧强度(Sr)	3.5197	3	37.9538	**
	放牧时间(Gt)	2.7495	1	88.9450	**
	交互作用(Sr×Gt)	7.1408	3	74.6725	**
5～10cm	放牧强度(Sr)	4.7792	3	5.3427	ns
	放牧时间(Gt)	9.3096	1	31.2215	*
	交互作用(Sr×Gt)	2.1285	3	9.9987	**
10～20cm	放牧强度(Sr)	6.4214	3	38.6979	**
	放牧时间(Gt)	0.5050	1	9.1302	ns
	交互作用(Sr×Gt)	2.4324	3	6.9998	*
1998	放牧强度(Sr)	4.6512	3	12.5638	**
	土壤层深度(Ds)	651.9363	2	2641.498	**
	交互作用(Sr×Ds)	25.4418	6	25.8714	**
1999	放牧强度(Sr)	9.7347	3	26.0536	**
	土壤层深度(Ds)	597.8155	2	2399.9550	**
	交互作用(Sr×Ds)	24.2504	6	13.7609	**

3 结 论

3.1 在各土层中,有机质、有机碳、全氮和 C/N的含量随放牧率的增加而减小,且它们的含量与放牧率呈显著的线性回归关系;速效氮和全磷的含量与放牧率呈二次回归关系;而且各土层养分因子的平均含量的变化与各层的变化相似。

3.2 放牧率对各土层有机质、有机碳、全氮的含量以及 C/N值的影响极显著($P<0.01$),对全氮的影响显

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

著 (P < 0.05),而且放牧率和土壤深度的交互作用对土壤各养分因子含量的影响极显著 (P < 0.01)。

3.3 放牧率对各土层含水量有极显著的影响 (P < 0.01),不同年度间同一土层含水量的差异极显著 (P < 0.01)。

参考文献:

[1] 董全民, 李青云, 马玉寿, 李发吉, 李有福. 放牧强度对高寒草甸夏季草场地上生物量和植被结构的影响 [J]. 青海草业, 2002, 11(2): 8 - 10.

[2] 董全民, 李青云, 施建军, 马玉寿, 王启基. 放牧强度对高寒草甸地上生物量和牦牛生长的影响 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 2002, 32(3): 5 - 7.

[3] 马玉寿, 郎百宁, 王启基. "黑土型"退化草地研究的回顾与展望 [J]. 草业科学, 1999, 16(2): 5 - 8.

[4] 关世英, 齐沛钦, 康师安, 常进宝. 不同牧压强度对草原土壤养分含量的影响初析 [J]. 高寒草甸生态系统, 1997, 5: 17 - 22.

[5] 王启基, 周兴民, 周立, 沈振西, 张堰青, 张跃生, 李英年. 调控策略对高寒退化草地的氮、磷、钾含量、积累及转移效应的分析 [J]. 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 281 - 292.

[6] 王启基, 周兴民, 沈振西, 邓自发. 恢复生态系统主要植物种群氮、磷、钾含量极其相关性分析 [J]. 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 321 - 330.

[7] 李香真, 陈佐忠. 不同放牧率对草原植物与土壤 C、N、P含量的影响 [J]. 草地学报. 1998, 6(2): 90～97.

[8] 李永宏, 钟文勤, 康乐, 刘永江, 廖仰南, 关世, 贾树海. 草原生态系统中不同生物功能类群及土壤因素间的互作和协同变化 [J]. 高寒草甸生态系统, 1997, 5: 1 - 11.

[9] 红梅, 陈有君, 李艳龙, 李建国. 不同放牧强度对土壤含水量及地上生物量的影响 [J]. 内蒙古农业科技, 2001,土肥专辑; 25 - 26.

[10] 贾树海, 王春枝, 孙振涛, 李绍良, 陈有君, 靳存旺. 放牧强度和时期对内蒙古草原土壤压实效应的研究 [J]. 草地学报, 1999, 7(3): 217 - 222.

[11] 鲍新奎, 曹广民, 赵宝莲. 高山土壤的磷素非生物固定作用 [J]. 高寒草甸生态系统, 1991 3: 247 - 256.

[12] 杜伊光, 李家藻, 师治贤, 杨涛. 高寒草甸生态系统土壤微生物反硝化作用引起氮素损失的研究 [J]. 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 189 - 195.

[13] 张金霞, 曹广民, 赵静玫, 王在模. 高寒草甸生态系统中矮嵩草草甸的氮、磷、钾动态 [J]. 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 11 - 18.

[14] 张　荣, 杜国祯, 1998. 放牧草地群落的冗余与补偿 [J]. 草业学报, 7(4): 13 - 19.

[15] 曹广民, 张金霞, 鲍新奎, 周党卫. 高寒草甸生态系统的磷素循环 [J]. 生态学报, 1999, 19(4): 514 - 518.

[16] 鲁彩艳, 陈　欣. 不同施肥处理土壤及不同 C/N比有机物料中有机 N的矿化进程 [J]. 土壤通报, 2003, 34 (4): 267 - 270.

[17] 李菊梅, 王朝辉, 李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反应土壤供氮能力反面的意义 [J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 231 - 237.

[18] 王启兰, 杨涛. 高寒草甸土壤氮素代谢作用强度的研究 [J]. 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 179 - 182.

[19] 王启兰, 李家藻. 高寒草甸植被不同土壤真菌生物量的季节动态 [J]. 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 169 - 178.

[20] 李香真, 陈佐忠. 放牧草地生态系统中氮素的损失和管理 [J]. 气候与环境研究, 1997, 2 (3): 241 - 250.

[21] 曹广民, 鲍新奎, 张金霞, 王在摸. 高寒草甸生态系统植物库磷素贮量及其循环特征. 高寒草甸生态系统 [J]. 高寒草甸生态系统, 1995, 4: 27 - 34.

[22] 曹广民, 鲍新奎, 赵宝莲. 高山土壤的磷素微生物固定作用 [J]. 高寒草甸生态系统, 1991, 3: 237 - 246.

[23] 马玉寿, 郎百宁, 李青云, 施建军, 董全民. 江河源区退化草地的恢复与重建技术研究 [J]. 草业科学, 2002, 19(9): 1 - 5.

[24] Guangmin Cao, Yanghong Tang, Wenhong Mo, Yuesi Wang, Yingnian Li and Xinquan Zhao. Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow on the Tibetan plateau [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36: 237 - 243.

[25] David Martin and Jeanne Chambers. Restoration of riparian meadows degraded by livestock grazing: above - and belowground responses [J]. Plant Ecology, 2002, 163: 77 - 91.

[26] 岳东霞, 李文龙, 李自珍. 甘南高寒湿地草地放牧系统的 AHP决策分析及生态恢复对策 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(2): 248 - 253.

[27] Ditommaso A, Aarssen L W. Resource manipulations in natural vegetation: a review [J]. Vegetation, 1987, 84: 9 - 29.

[28] Y Ge, J Chang, C X Fu, and G Y S Chen. Effect of soil water status on the physioecological traits and the ecological replacement of two endangered species, Changium smyrnioides and Chuanminshen violaceum [J]. Bot Bull Acad Sin., 2003, 44: 291 - 296.

[29] 周启友, 岛田村. 土壤水空分布结构的时间稳定性 [J]. 土壤学报. 2003, 40 (5): 683 - 689.

[30] 赵　钢. 草地畜牧业可持续发展刍议 [J]. 内蒙古草业, 1999, 2: 1 - 6.

致谢: 本文系硕士论文"高寒草甸草场牦牛优化放牧方案的研究"的部分内容,在论文的制作和修改中,承蒙胡自治导师的指导,特此感谢!

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Responses of Soil Nutrient Contents and Water to Stocking Rates for Yaks in Kobrecia parva Alpine Meadow

II Change of Soil Nutrient Contents and Water on Winter Pasture

DONG Quan - min[1, 2], ZHAO Xin - quan[1], LI Qing - yun[2], MA Yu - shou[2], LI You - fu[3] LI Fa - ji[3]

(1. *Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of science Xining* 810002, *China;*

2. *Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science Xining* 810003, *China;*

3. *Grassland Station of Guoluo prefecture in Qinghai province, Maqin* 814000, *China*)

Abstract: The result of grazing trial for yaks on winter pasture of Kobrecia parva alpine meadow indicated that contents of organic matter, total N and C/N decreased in the same soil layers with the increase of stocking rates, and there was a significant linear regression relationship between the contents, value of C/N and stocking rates. Besides, the interactions of stocking rates and grazing time had an extremely significant effect on the contents of every nutrient in different soil layers ($P < 0.01$). Effect of stocking rates on the water contents of every layers was very significant ($P < 0.01$), and the annual change for water contents of every stratum was also very significant ($P < 0.01$).

Key words: Stocking rate for yak; Kobrecia parva alpine meadow; Winter pasture; Soil nutrient factor; Soil nutrient contents; Soil water contents

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net