

三江源地区主要草地类型土壤碳氮沿海拔变化特征及其影响因素

王长庭^{1 2} 龙瑞军^{1 3 *} 曹广民¹ 王启兰¹ 丁路明¹ 施建军⁴

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008) (2 中国科学院研究生院, 北京 100039)
(3 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070) (4 青海省畜牧兽医科学院草原所, 西宁 810003)

摘 要 以三江源地区主要草地类型为研究对象, 分析了不同草地类型土壤有机碳和全氮的变化特征及其与环境因子、土壤特征等的相互关系。结果表明, 沿着海拔的逐渐升高, 土壤有机碳和全氮含量均呈现出“V”字形变化规律, 即土壤有机碳氮含量在海拔最高处(5 120 m)和最低处(4 176 m)比较高, 而在中间海拔梯度较低, 土壤有机碳与全氮含量极显著相关($r = 0.905$)且高寒草甸土壤碳、氮含量高于高山草原土壤碳、氮含量; 土壤有机碳含量和全氮含量均随着土壤含水量的增加而增加, 偏相关分析结果表明, 对 0 ~ 30 cm 土层中土壤有机碳和土壤全氮影响最大的是土壤含水量, 偏相关系数为 0.946 5、0.905 9 ($p < 0.01$)。土壤有机碳含量和全氮含量与植被盖度和草地生产力存在正相关趋势, 土壤有机碳含量和全氮含量与土壤 pH 值和全盐量存在负相关趋势。

关键词 三江源地区 土壤有机碳 土壤全氮 草地 影响因素

SOIL CARBON AND NITROGEN CONTENTS ALONG ELEVATION GRADIENTS IN THE SOURCE REGION OF YANGTZE, YELLOW AND LANTSANG RIVERS

WANG Chang-Ting^{1 2} LONG Run-Jun^{1 3 *} CAO Guang-Min¹ WANG Qi-Lan¹
DING Lu-Ming¹ and SHI Jian-Jun⁴

(1 Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)
(2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)
(3 Grassland Science College of Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)
(4 Grassland institute, Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science, Xining 810003, China)

Abstract Soil is an important component of the terrestrial ecosystem and plays a critical role in global carbon cycle. Better understanding the distribution pattern of soil carbon storage along environmental gradients will facilitate the projection of global change on terrestrial C cycling. This study was conducted to examine soil organic carbon and nitrogen contents in major grassland types along elevation gradients in the source region of Yangtze, Yellow and Lantsang Rivers. Soil organic carbon and nitrogen contents were greater at the highest (5 120 m a.s.l.) and lowest (4 176 m a.s.l.) sites and lower at middle site. Soil organic carbon and nitrogen contents increased with soil moisture along the altitudinal gradient. Partial correlation analysis showed that spatial variability of soil organic carbon and nitrogen contents at 0 – 30 cm soil layers could be primarily explain by soil moisture with partial correlation coefficients of 0.946 5、0.905 9 ($p < 0.01$), respectively. In addition, soil organic carbon and nitrogen contents showed positive linear correlations with plant cover and productivity and negative correlation trend with soil pH and total salt content.

Key words The source region of Yangtze, Yellow and Lantsang Rivers, Soil organic carbon, Soil total nitrogen, Grassland, Impact factors

自 18 世纪 50 年代 Joseph Black 发现空气中存在 CO₂ 开始(王凯雄等, 2001), 人类就一直没有停止过对碳元素的探索和研究, 尤其是工业革命以后, 大气中 CO₂、CH₄ 等浓度始终以前所未有的速率增长,

温室气体浓度的升高强烈的影响着气候系统和降水格局的改变, 并导致人类生存环境的变化(刘慧等, 2002), 因而引起国际社会的普遍关注。

陆地生态系统作为人类的居住环境和人类活动

的主要场所,其碳贮存量约为大气碳库的 2 倍(杨昕和王明星,2001)。对于陆地生态系统碳循环规律和机制的研究将是全球碳循环研究的关键环节。在各种陆地生态系统中,又以草地生态系统的研究尤为重要。据统计,我国现有不同类型草地面积约为 4 亿 hm^2 ,约占我国土地面积的 40% 以上,是我国陆地面积最大的生态系统。在草地生态系统中,植物、凋落物和土壤腐殖质构成了系统的三大碳库,对于各碳库碳贮量以及碳库间碳流量大小及其变化的研究是整个草地碳循环研究的核心。氮素是包括草原生态系统在内的各种生态系统(森林、农田、荒漠等)生产力高低的主要限制因子(Burke *et al.*, 1997; Tilman, 1996)。土壤中的氮大部分以有机态形式存在,有机态氮一般不能直接为植物吸收利用,只有在适宜条件下,经微生物和细菌的分解,才能转化成能为植物吸收利用的矿物氮。土壤氮素矿化是反映土壤供氮能力的重要因素之一,也是目前国内外土壤生态研究的热点之一,氮素的矿化、硝化、固定、吸收及植物体的内部循环是草地生态系统中氮素运动的主要途径(王常慧等,2004)。

土壤作为草地生态系统的重要基质,在生物循环中具有特殊的生态学意义,土壤不仅从岩石分化过程中富集了生物所需的养分,而且富集了凋落物分解后的养分,再将这些养分提供给植物吸收,同时土壤还给微生物和土壤动物提供了生活的场所(李跃林等,2002)。由于土壤有机碳储量的库容量巨大,其较小幅度的变化就可能影响到大气排放,以温室效应影响全球气候变化。同时,土壤有机碳含量及其动态平衡也是反映土壤质量和草地健康的重要指标,直接影响着土壤肥力和草地生产力(王艳盼等,1998)。

三江源地区地处青藏高原腹地,青海省的西南部,区域面积 36.3 万 km^2 ,占青海省总面积的 50.3%。三江源区河流密布,湖泊沼泽众多,雪山冰川广布,是世界上海拔最高、面积最大、分布最集中的地区,湿地面积 7.33 km^2 ,占保护区总面积的 24%。这些湿地在水源涵养、减缓径流、蓄洪防旱、防灾抗灾、降解污染、维持生物多样性等方面有着其它生态系统不可替代的作用,具有巨大的生态功能,在生态安全体系中被誉为“生命的摇篮”(王得祥等,2004)。然而,随着全球气候逐渐变暖,冰川、雪山逐年萎缩,加之超载过牧等不合理的人类活动加剧了草地的退化、沙化,也直接影响了当地湖泊和湿地的水源补给,致使众多湖泊、湿地面积缩小甚至干涸,

沼泽消失。因此,黄河断流、长江水患等生态安全问题的出现,无一不与源头地区生态环境的变化有关。江河源区半湿润草原、半干旱高寒草原和高寒草甸等多种类型生态系统不仅提供了大量人类社会经济活动中所需的畜产品、植物资源,还对空气质量调节、营养物质循环、截留降水和侵蚀控制等功能和过程具有特殊的生态意义。由于长期以来对草地资源采取自然粗放经营的方式,草地资源普遍存在着过渡放牧、乱开滥垦等现象,草地退化、沙化面积逐渐增加,草地生态系统破坏严重。众所周知,人类活动不仅会直接导致自然植被发生相应的变化,同时还深刻地影响着生态系统的物质循环,其中一个重要的方面是对土壤氮和碳循环的影响(Hachl *et al.*, 2000)。Ojima 等(1994)估计如果将放牧水平增加到 30% ~ 50%,未来 50 年内温暖地区草地中的碳将大部分丧失,而适度放牧并维持草地的可持续管理将可以减少碳排放,增加土壤碳储存。目前,草地生态系统土壤碳氮空间分布特征及不同管理条件下土壤碳氮特征的研究较多(Estavillo *et al.*, 2000; Hadi *et al.*, 2000; Dao, 1998; Loiseau & Soussana, 2000; Calderon *et al.*, 2000; 傅华等, 2004; 白红军等, 2003),但是针对三江源区不同海拔梯度出现的碳氮变化特征所开展的研究较少。本试验以三江源地区主要草地类型为研究对象,根据不同海拔草地类型的土壤等基本资料,分析了土壤碳氮的分布特征及其与环境等因子之间的关系,了解人类干扰特别是放牧干扰对土壤碳氮分布的影响,旨在为该地区草地的恢复和放牧条件下更好地发挥出草地生态系统的潜力提供依据。

1 材料与研究方法

1.1 研究地区自然概况

研究地区三江源指长江、黄河、澜沧江的源头。位于青藏高原腹地,青海省南部。西和西南与新疆维吾尔自治区和西藏自治区接壤,东和东南与四川省和甘肃省毗邻,北与青海省海西蒙古族藏族自治州、海南藏族自治州的贵德县及黄南藏族自治州为界。本区气候属青藏高原气候系统,冷季为青藏冷高压所控制长达 7 个月,具有典型高原大陆型气候特征,平均海拔为 4 500 m 左右。由于地处青藏高原腹地,海拔高而空气稀薄,日照百分率达 50% ~ 65%,年日照时数 2 300 ~ 2 900 h,年辐射量 5 500 ~ 6 800 $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$,东部低于西部。全年平均气温一般在 -5.6 ~ 3.8 $^{\circ}\text{C}$ 之间,极端最低气温 -48 $^{\circ}\text{C}$,极端

最高气温 28 ℃ ,年平均降水量在 262.2 ~ 772.8 mm 之间 ,年蒸发量相对较大 ,一般在 730 ~ 1 700 mm 之间。高寒草甸和高山草原是三江源区主要植被类型和天然草场 ,高寒草甸植被以小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、藏嵩草(*Kobresia tibetica*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、异针茅(*Stipa aliena*)等种群为优势 ,种类成分较为丰富 ,分布广 ,面积大 ,但区系成分简单。高山草原以青藏苔草(*Carex moorcroftii*)和紫花针茅(*Stipa purpurea*)为主 ,植被稀疏、覆盖度小、草丛低矮、层次结构简单。主要土壤类型有高山寒漠土、高寒草甸土、高山草原土、山地草甸土、灰褐土、栗钙土、沼泽土等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

为了反映三江源地区主要草地类型土壤有机碳特征 ,了解气候因素、植被等对土壤有机碳含量的影响 ,从巴颜喀拉山西线至东线以海拔为指标 ,分别在高寒草甸、高山草原等设置样地 ,各样地采用 GPS 定位。各样地植被群落状况、土壤理化性质、地理位置见表 1。

1.2.2 土壤采集

在测定过植物地上生物量的样方(25 cm × 25 cm) ,用土钻取 10 个样点(采用“ V ”字形法)混合为一个土壤样品 ,即 0 ~ 30 cm 土壤样品为 1 次重复 ,共计 5 次重复 ,风干后测定土壤基本成分。

1.2.3 植物生物量的测定

地上生物量在 8 月植物生长最旺盛时用收获法测定 ,面积为 50 m × 50 m 的样地上选择有代表性地段 ,用对角线法设置 5 个 1 m × 1 m 的观测样方。

1.2.4 分析方法

土壤中的测试项目为土壤样品的全磷(钼锑抗比色法)、速效磷(碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法)、全氮和速效氮(凯氏法和康维皿法)及有机质含量(丘林法) (由中国科学院兰州分院分析测试中心生物化学分析测试部测定)。

1.2.5 土壤含水量和温度的测定

在测定植物生物量的同时 ,用点温计测定 0 ~ 10 cm、0 ~ 20 cm 和 0 ~ 30 cm 的土壤温度。近地表层 0 ~ 10 cm、0 ~ 20 cm 和 0 ~ 30 cm 的含水量用土钻法取土并称鲜重 ,然后在 105℃ 的烘箱内烘干至恒重并称重 ,计算出土壤含水量。

1.2.6 资料分析

应用统计分析软件 SPSS ,分别对不同海拔土壤指标(土壤有机碳和土壤全氮)与环境因子、植被特征和土壤特征进行相关分析 ,判断其间是否有显著差异 ,进一步做偏相关分析说明上述指标两两之间的内在联系 ;分别对不同海拔土壤指标(土壤有机碳和土壤全氮)与环境因子、植被特征和土壤特征做趋势模拟 ,判断土壤有机碳和土壤全氮在海拔梯度上的分布格局。

表 1 各观测样地的基本情况
Table 1 General conditions of sample plots

样地号 Plot No.	植物群落类型 Plant community types	海拔 Elevation (m)	纬度 Latitudes	经度 Longitudes	植被类型 Vegetation type	降水量 Precipitation (mm)	土壤类型 Soil type
1	甘肃苔草 + 异针茅 <i>Carex kansuensis</i> + <i>Stipa aliena</i>	4 176	32°53.247' N	96°46.526' E	高寒草甸 Alpine meadow	452	高寒草甸土 Alpine meadow soil
2	小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	4 218	37°57.357' N	96°35.456' E	高寒草甸 Alpine meadow	400.2	高寒草甸土 Alpine meadow soil
3	小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	4 273	33°26.068' N	97°17.296' E	高寒草甸 Alpine meadow	410	高寒草甸土 Alpine meadow soil
4	青藏苔草 + 紫花针茅 <i>Carex moorcroftii</i> + <i>Stipa purpurea</i>	4 285	35°04.756' N	97°44.003' E	高山草原 Alpine steppe	350	高山草原土 Alpine steppe soil
5	青藏苔草 + 紫花针茅 <i>Carex moorcroftii</i> + <i>Stipa purpurea</i>	4 298	34°54.911' N	98°12.519' E	高山草原 Alpine steppe	350	高山草原土 Alpine steppe soil
6	线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i>	4 435	34°26.154' N	100°22.794' E	高寒草甸 Alpine meadow	404.7	高山寒漠土 Alpine desert soil
7	小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	4 601	34°54.279' N	97°31.876' E	高寒草甸 Alpine meadow	503.6	高山寒漠土 Alpine desert soil
8	青藏苔草 <i>Carex moorcroftii</i>	5 120	34°07.632' N	97°39.487' E	高寒草甸 Alpine meadow	542	高山寒漠土 Alpine desert soil

2 结 果

2.1 土壤有机碳和全氮含量特征

表 2 土壤有机碳和全氮含量分析表明 ,沿着海拔的逐渐升高 ,土壤有机碳和全氮含量均呈现出“ V ”字形变化规律 ,即在不同海拔梯度内土壤有机碳含量在海拔最高(5 120 m)和最低(4 176 m)比较高 ,而在中间海拔梯度较低 ,这可能主要由于研究地区寒冷的气候条件所决定。由于海拔高、气温低且常年积雪而土壤湿度大 ,土壤微生物活动弱 ,植物凋

落物在土壤中分解缓慢 ,有利于有机质的积累。然而 ,由于局部环境和人类活动(特别是超载过牧)的影响 ,不同样地的土壤有机碳变化范围较大。如 4、5 样地 ,在人类活动干扰和自然因素的综合作用下 ,草地严重退化 ,生产能力显著下降 ,土壤有机质分解速度加快 ,其含量明显低于其它样地。

2.2 环境因子对土壤有机碳和全氮的影响

图 1 结果表明 0 ~ 30 cm 土壤中有机碳含量和全氮含量均随着土壤含水量的增加而增加。土壤有机碳含量和全氮含量与含水量呈极显著正相关 , R^2

表 2 三江源地区主要草地类型土壤碳氮含量
Table 2 Contents of organic C and total N in major grassland in the source region of Yangtze , Yellow and Lantsang Rivers

样地号 Plot No.	植被类型 Vegetation type	土壤有机碳 Soil organic C (%)	土壤全氮 Soil total N (%)
1	甘肃苔草 + 异针茅 <i>Carex kansuensis</i> + <i>Stipa aliena</i>	7.72 ± 0.18 ^a	1.15 ± 0.06 ^a
2	小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	7.46 ± 0.20 ^a	0.43 ± 0.02 ^a
3	小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	5.02 ± 0.14 ^a	0.35 ± 0.01 ^a
4	青藏苔草 + 紫花针茅 <i>Carex moorcroftii</i> + <i>Stipapurpurea</i>	2.08 ± 0.13 ^b	0.19 ± 0.01 ^b
5	青藏苔草 + 紫花针茅 <i>Carex moorcroftii</i> + <i>Stipapurpurea</i>	1.87 ± 0.04 ^b	0.13 ± 0.01 ^b
6	线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i>	3.99 ± 0.02 ^a	0.37 ± 0.01 ^a
7	小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	5.52 ± 0.02 ^a	0.50 ± 0.01 ^a
8	青藏苔草 <i>Carex moorcroftii</i>	6.48 ± 0.10 ^a	1.02 ± 0.01 ^a

同一列数据字母不同说明具有显著性差异 Different letters indicate a significant difference in same columne data($p < 0.05$)

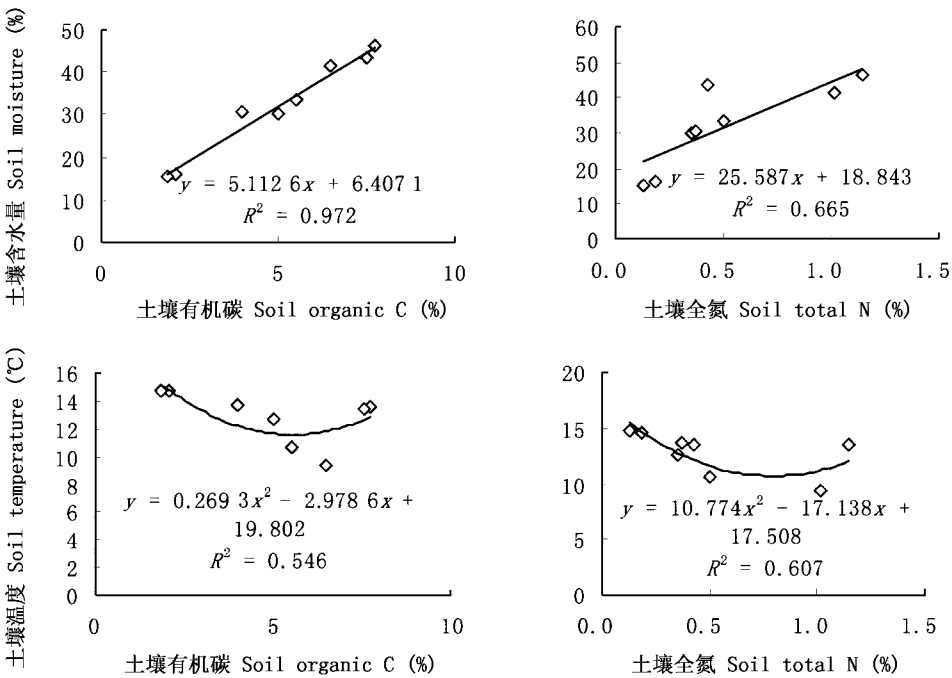


图 1 土壤有机碳和全氮含量与土壤含水量(0 ~ 30 cm)和温度的关系
Fig.1 The relationship between soil organic C , total N and soil moisture (0 - 30 cm) , temperature

为 0.972 和 0.665 ($p < 0.01$) ;通过与土壤温度之间的趋势模拟均呈正二次函数关系 ,其拟合系数 R 值分别为 0.804 和 0.779 ,均大于 0.5 , X^2 检验值为 8.728和 12.135 ,均小于 $X^2_{0.05} = 14.07$, $df = 7$ 拟合结果良好。

土壤有机碳与土壤含水量和土壤温度通过相关分析结果表明 :对 0~30 cm 土壤有机碳影响最大的是土壤含水量 ,偏相关系数 $R = 0.947$, $p = 0.002$;其次是土壤温度 ,偏相关系数 $R = -0.629$, $p = 0.167$ 。

土壤全氮与土壤含水量和土壤温度的相关分析结果显示 :对 0~30 cm 土壤全氮影响最大的是土壤含水量 ,偏相关系数 $R = 0.906$, $p = 0.008$;其次是土壤温度 ,偏相关系数 $R = 0.494$, $p = 0.307$ 。

2.3 植被特征和土壤特征对土壤有机碳和全氮的影响

0~30 cm 土层土壤有机碳含量和全氮含量与植被盖度和草地生产力存在正相关 ,但均未达到显著水平。土壤有机碳与植被生产力和盖度的 R^2 为

0.434 和 0.463 ($p > 0.05$) ;土壤全氮与植被生产力和盖度的 R^2 为 0.123 和 0.141 ($p > 0.05$) 。

0~30 cm 土层土壤有机碳含量和全氮含量与土壤 pH 值和全盐量之间通过趋势模拟均呈正二次函数关系 ,其拟合系数 R 值分别为 0.902、0.866 和 0.980、0.936 ,均大于 0.5 , X^2 检验值为 7.768、12.905和 6.995、11.722 ,均小于 $X^2_{0.05} = 14.07$, $df = 7$ 拟合结果良好 (图 2) 。

2.4 不同海拔土壤 pH 值、全盐量、有机碳、全氮及碳/氮比值的关系

土壤 pH 值通过影响微生物的活动而显著影响着土壤对碳氮的固定和积累能力 ,它是影响土壤有机碳及全氮的空间分布的环境因子之一 (白军红等 ,2003) 。从相关分析结果可以看出三江源地区土壤 pH 值与土壤全氮、有机碳含量和 C/N 为负相关 ,但差异不显著 ;土壤有机碳在 0.01 显著水平上与全氮极显著正相关 ($R^2 = 0.819$) ;土壤全氮与 C/N 比呈现负相关 ,但差异不显著 (表 3) 。

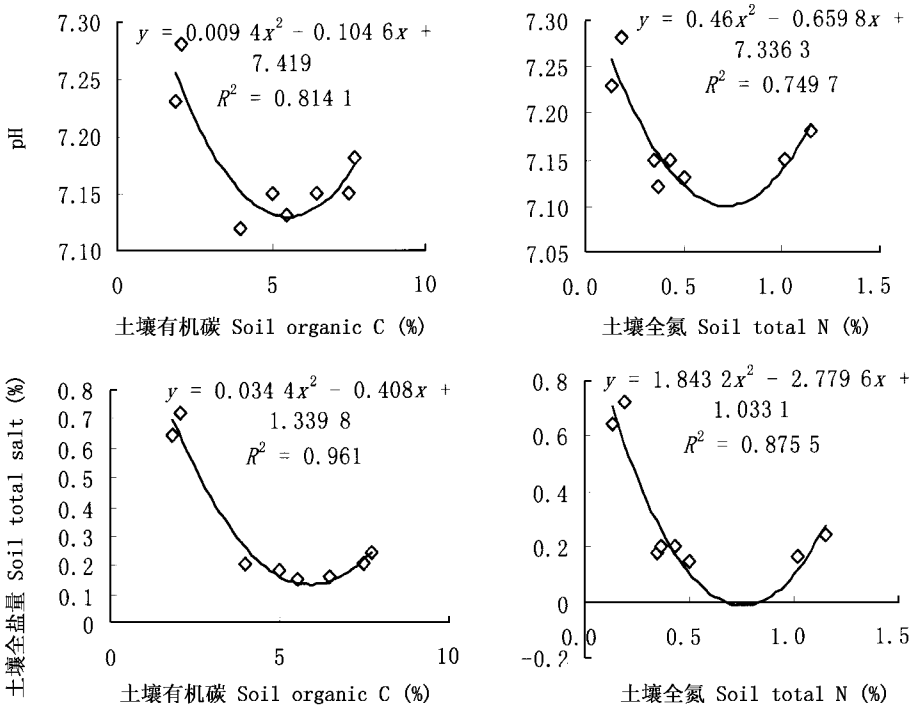


图 2 土壤有机碳和全氮含量与土壤全盐量和 pH 值的关系
Fig.2 The relationship between soil organic C , total N and soil total salt , pH value

表 3 三江源地区 0~30 cm 土壤 pH 值、全盐量、有机碳、全氮及碳/氮比的相关系数矩阵
Table 3 Matrix of correlation coefficients of pH , total salt , organic C , total N and C/N in 0-30 cm soil of the source region of Yangtze , Yellow and Lancang Rivers

	全 N Total N (%)	有机碳 Organic C (%)	pH	全盐量 Total salt (%)	C/N
全 N Total N (%)	1.000				
有机碳 Organic C (%)	0.905 **	1.000			
pH	- 0.366	- 0.244	1.000		
全盐量 Total salt (%)	- 0.515	- 0.407	0.773 *	1.000	
C/N	- 0.571	- 0.262	0.098	0.132	1.000

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

3 讨 论

3.1 三江源地区不同草地类型土壤碳氮的变化特征

绿色植物通过光合作用将大气中的 CO₂ 转变为有机碳 ,是草地生态系统碳的主要来源(李凌浩 , 1998 ;方精云等 ,2001)。土壤中的有机碳量主要取决于土壤中的植物残体量以及土壤微生物作用下分解损失量的平衡状况(齐玉春等 ,2003)。在不同的气候条件和人类活动干扰下 ,土壤有机碳含量存在着很大的差异 ,气候因子主要通过影响植被、土壤特征从而影响着进入土壤中的有机质数量 ,同时气候因子(土壤温度、土壤含水量等)又影响着土壤有机质的分解。三江源地区主要草地类型土壤有机碳和土壤全氮的分布均表现出一定的规律性 ,即高海拔(5 120 m)和低海拔(4 176 m)较高 ,而中间海拔较低的“ V ”字形变化趋势 ,而且土壤有机碳与全氮极显著正相关($R^2 = 0.819$, $p < 0.05$) ,与 C/N 比呈微弱负相关($R^2 = -0.069$, $p < 0.05$) ,说明 0~30 cm 土层中土壤氮素含量主要存在于土壤有机质中。特别要说明的是 4、5 号样地 ,由于放牧压力较其它样地大 ,植物群落的种群组成和结构特征发生根本性变化 ,植被盖度仅为 22% 和 19.4% ,而且生产力很低 ,仅为 48.32 和 45.29 g·m⁻² ,草地严重退化 ,基本上沙化。高寒草甸 0~30 cm 土层中土壤有机碳和土壤全氮含量高于高山草原 0~30 cm 土层中土壤有机碳和土壤全氮含量。这与青海省农业资源区划办公室(1997)对青海省土壤资源调查的结果和王艳芬等(1998)对我国内蒙古锡林郭勒地区土壤有机碳的研究结果 :草甸草原 > 典型草原 > 荒漠草原的结论相一致。

3.2 气候因子、植被特征和土壤特征对土壤碳氮的影响

草地初级生产力是反映植物群落固碳能力的重要指标 ,初级生产力的差异在一定程度上反映了不

同草地群落类型光合固碳能力的差别。草原植物群落的生物量是在一定气候生态条件下植物光合作用的产物(张娜和梁一民 ,2000)。同时试验证明 :嵩草草甸地上净生产量与环境因子的逐步回归分析结果可以看出 ,降水量和年均温是制约嵩草草甸地上净生产量的主导因子(周兴民 ,2001)。周立等(1995a , 1995b)的研究指出 ,由于年降水量变化相对较小 ,在水分条件中降水分配是引起高寒草甸第一性生产力年际间变化的主要因素。王淑平等(2002)的研究表明 ,土壤有机碳含量与降水量之间呈显著正相关 ,温度对有机碳的影响较为复杂 ,适宜的温度有利于土壤有机碳的积累 ,否则对有机碳的积累具有负效应。

Puri 和 Ashmar(1998)研究表明 ,土壤温、湿度是影响土壤氮素矿化的最重要的原因 ,而且温度的影响要高于湿度 ,二者有明显的正交互作用。Calderon 等(2000)发现 ,土壤含水量减少 ,能使氮素和碳素的矿化降低 15%。在多种类型的土壤中 ,无论在田间还是实验室 ,温度和湿度都是控制氮素矿化的主要因子(Andrew *et al.* , 1987)。三江源地区不同类型草地 0~30 cm 土层中土壤有机碳含量和全氮含量均随着土壤含水量的增加而增加 ,相关系数分别为 $R^2 = 0.972$ 和 $R^2 = 0.665$,海拔较高和较低的样地土壤有机碳和全氮含量相应也较高 ,这除了土壤含水量、土壤温度的影响外 ,同时受到土壤特征和植被盖度的影响 ,因为高海拔样地虽然水分含量充足 ,但温度低 ,土壤微生物的活动受到抑制 ,有利于有机质的不断积累 ,这是因为土壤有机质质量和数量直接影响到参与分解的微生物是否容易获得自身分解的氮素 ,而低海拔样地水分含量适宜、温度较高 ,植被盖度大(如 1、2、3 号样地盖度分别为 85%、73%、68.4%) ,也就是这些样地上物种丰富 ,生产力较高(分别为 295.35、253.11、245.10 g·m⁻²) ,植物输入残体量也要远大于 4、5 号样地 ,植被覆盖度可能是引起土壤有机碳和全氮含量差异的主要因子之一 ,由于 4、5 号样地植被覆盖度低 ,地表裸露 ,土壤水分

蒸发较快,表层土壤有机碳分解速度大于其它样地,所以作为养分循环中极为重要的植物凋落物(1~8号样地分别为:31.22、31.01、30.54、15.72、14.56、20.55、22.18和23.11 g·m⁻²),在碳氮循环过程中也起着至关重要的作用。

Berends(1990)发现,土壤不同层次中有机质含量的多少是影响土壤氮矿化的主要因素,随着土层深度的增加,土壤透气性和有机质含量在不断变化,土壤透气性逐渐降低,可供降解的有机质也越来越少,微生物数量迅速下降,氮矿化随之下降。一般认为,低的土壤pH值条件更有利于硝态氮的固持,土壤盐度也影响着氮矿化,且随盐度增加,总氮矿化量下降(王常慧等,2004)。三江源地区不同类型草地上4、5号样地的pH值和全盐量(7.28、7.23和0.72%、0.64%)相对于其它样地(7.12~7.18和0.15%~0.24%)较大,且土壤pH值在0.05显著水平上与全盐量显著正相关($R^2=0.596$)。总之,在草地生态系统中,土壤有机碳和土壤全氮含量受到气候、土壤特征、植被特征以及人为干扰的综合影响,且各因素之间相互联系、相互影响,例如草地植被类型受到土壤水分和温度的制约,而进入土壤的植物残体取决于植被类型;土壤特征及气候因子影响着土壤中微生物的数量和活动能力,同时也影响着土壤有机质的分解速率。

3.3 放牧干扰对土壤碳氮的影响

放牧是人类活动作用于草地生态系统的主要方式。放牧不仅会降低群落优势种的优势度,使草原生态系统的群落组成发生变化,进而对草原植物碳库产生直接影响,而且长期的过度放牧还会导致草原土壤物理性状的变化,导致植物个体生长发育受到抑制,对草原植物碳库产生间接的影响(李政海等,1999)。但同时大量的研究也表明,当适度放牧时,牧草的地上现存量虽然随着放牧率的增大而线性下降,但地上净初级生产力并非线性下降,而是存在着补偿性生长现象(汪诗平等,1998)。

过度放牧是人类施于草原生态系统最强大的影响因素,在全世界草地退化总面积中,约有35%是由于过度放牧造成的,就影响规模而言,要远远超过草地开垦(李凌浩,1998)。过度放牧可使草地初级生产力固定碳素的能力降低,家畜采食减少了碳素由植物凋落物向土壤中的输入。就全世界草地而言,在过度放牧下草地地上净生产力中仅有20%~50%的产量能够以凋落物和家畜粪便的形式进入到土壤库中(李凌浩,1998)。对澳大利亚东北部两类

半干旱草原的1996研究结果表明,重度放牧6~8年后对土壤有机碳的总贮量没有显著影响,但土壤微生物中的碳贮量分别降低了51%和24%;土壤微生物量的变化比土壤碳总贮量更好地反映出家畜放牧影响下土壤有机碳的早期变化(Holt,1997)。王伟等(1996)的研究证明,内蒙古羊草草原群落退化的显著特征是群落生产力的大幅度下降和优势种的更替。三江源地区不同草地类型的草地中1、2号样地(轻牧)与4、5号样地(重牧)之间的生产力差异非常大(图3),进一步说明过度放牧不仅影响着草地生态系统的结构、功能,而且影响着生态系统的碳氮循环。因此,确定合理的放牧强度既对草地畜牧业的稳定健康发展有利,也对提高整个生态系统的植物固碳能力有利。

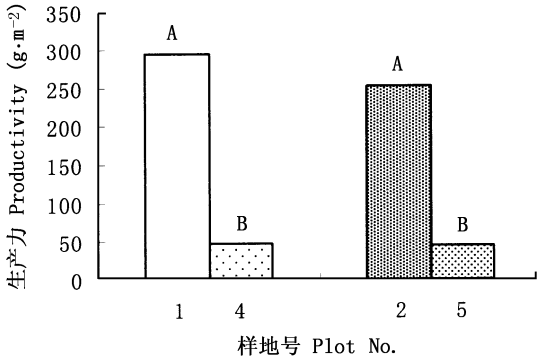


图3 轻牧与重牧草地群落生产力的变化
Fig.3 Changes in productivity of light graze and weighty graze grassland
A和B为两样地生产力间差异显著性检验(即达到显著性水平)
A, B indicate significant test on productivity different ($p<0.01$)

参 考 文 献

Agriculture Resource District Office of Qinghai Province(青海省农业资源区划办公室)(1997). *Qinghai Soils* (青海土壤). China Agriculture Press, Beijing, 55-114.

Andrew EP, Ralph EJ, Boerner JL (1987). Relative nitrogen mineralization and nitrification in soils of two contrasting hardwood forests: effects of site microclimate and initial soil chemistry. *Forest Ecology Management*, 21, 21-36.

Bai JH(白军红), Deng W (邓伟), Zhu YM (朱颜明), Luan ZJ (栾兆擎), Zhang YX (张玉霞) (2003). Spatial distribution characteristics and ecological effects of carbon and nitrogen of soil in Huolin River catchment wetland. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 14, 1494-1498. (in Chinese with English abstract)

Berendse F (1990). Organic matter accumulation and nitrogen mineralization during secondary succession in health land ecosystem. *Journal of Ecology*, 78, 413-427.

- Burke IC, Lauenroth WK, Parton WJ (1997). Regional and temporal variation in net primary production and nitrogen mineralization in grasslands. *Ecology*, 78, 1330–1340.
- Calderon JF, Louise EJ, Scow KM (2000). Microbial response to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils. *Soil Biology Biochemistry*, 32, 1547–1559.
- Dao TH (1998). Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and carbon storage in a Paleustoll. *Soil Science Society of American Journal*, 62, 250–256.
- Estavillo JM, Merino P, Pinto M, Yamulki S, Gebauer G, Sapek A, Corre W (2002). Short term effect of ploughing a permanent pasture on N_2O production from nitrification and denitrification. *Plant and Soil*, 239, 253–265.
- Fang JY(方精云), Ke JH(柯金虎), Tang ZY(唐志尧), Chen AP(陈安平) (2001). Implications and estimations of four terrestrial productivity parameters. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 25, 414–419. (in Chinese with English abstract)
- Fu H(傅华), Chen YM(陈亚明), Wang YR(王彦荣), Wan CG(万长贵) (2004). Organic carbon content in major grassland types in Alex, Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 24, 469–476. (in Chinese with English abstract)
- Hachl E, Zechmeister-Boltenstern S, Kandeler E (2000). Nitrogen dynamics in different types of pasture in the Austrian Alps. *Biology and Fertility of Soils*, 32, 321–327.
- Hadi A, Inubushi K, Purnomo E, Razie F, Yamakawa K, Tsuruta H (2000). Effect of land-use changes on nitrous oxide emission from tropical peatlands. *Chemosphere-Global Change Science*, 2, 347–358.
- Holt JA (1997). Grazing pressure and soil carbon, microbial biomass and enzymes activities in semiarid Northeastern Australia. *Applied Soil Ecology*, 5, 143–149.
- Li LH(李凌浩) (1998). Effects of land-use change on soil carbon storage in grassland ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 22, 300–302. (in Chinese with English abstract)
- Li YL(李跃林), Peng SL(彭少麟), Zhao P(赵平), Ren H(任海), Li ZA(李志安) (2002). A study on the soil carbon storage of some land use types in Heshan, Guangdong, China. *Journal of Mountain Science*(山地学报), 20, 548–552. (in Chinese with English abstract)
- Li ZH(李政海), Bao YJ(鲍雅静), Kou XY(寇香玉) (1999). The effect of different human disturbance on net primary productivity of plant and community in steppe. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*(内蒙古大学学报自然科学版), 30, 745–750. (in Chinese with English abstract)
- Liu H(刘慧), Cheng SK(成升魁), Zhang L(张雷) (2002). The international latest research of the impacts of human activities on carbon emission. *Progress in Geography*(地理科学进展), 21, 420–429. (in Chinese with English abstract)
- Loiseau P, Soussana JF (2000). Effects of elevated CO_2 temperature and N fertilization on fluxes in a grassland ecosystem. *Global Change Biology*, 6, 953–965.
- Ojima D, Schimel DS, Parton WJ (1994). Long and short-term effects of fire on nitrogen cycling in tallgrass prairie. *Biogeochemistry*, 24, 67–84.
- Puri G, Ashman MR (1998). Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralization. *Soil Biology Biochemistry*, 30, 251–256.
- Qi YC(齐玉春), Dong SY(董云社), Geng YB(耿元波), Yang XH(杨小红), Geng HL(耿会立) (2003). The progress in the carbon cycle researches in grassland ecosystem in China. *Progress in Geography*(地理科学进展), 22, 342–352. (in Chinese with English abstract)
- Tilman D (1996). Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystem. *Nature*, 379, 718–720.
- Wang CH(王常慧), Xing XR(邢雪荣), Han XG(韩兴国) (2004). Advances in study of factors affecting soil N mineralization in grassland ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 15, 2184–2188. (in Chinese with English abstract)
- Wang DX(王得祥), Li YB(李轶冰), Yang GH(杨改河) (2004). Progress in the study of the environment of the source regions of Yangtse River, Yellow River and Lantsang River. *Journal of Northwest Science-Technology of Agriculture and Forest*(Natural Science Edition)(西北农林科技大学学报(自然科学版)), 32, 5–10. (in Chinese with English abstract)
- Wang KX(王凯雄), Yao M(姚铭), Xu LJ(许利君) (2001). A focus topic of global change study: carbon cycle. *Journal of Zhejiang University*(Agriculture and Life Science)(浙江大学学报(农业与生命科学版)), 27, 473–478. (in Chinese with English abstract)
- Wang SP(汪诗平), Wang YF(王艳芬), Li YH(李永宏), Chen ZZ(陈佐忠) (1998). The influence of different stocking rates on herbage regrowth and aboveground net primary production. *Acta Agrestia Sinica*(草地学报), 6, 275–281. (in Chinese with English abstract)
- Wang SP(王淑平), Zhou GS(周广胜), Lü YC(吕育财), Zou JJ(邹建军) (2002). Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along Northeast China transect (NECT) and their relationships with climatic factors. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 26, 513–517. (in Chinese with English abstract)
- Wang W(王炜), Liu ZL(刘钟岭), Hao DY(郝敦元), Liang CZ(梁存柱) (1996). Research on the restoring succession of the degenerated in Inner Mongolia I. Basic characteristics degenerated grassland. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 20, 449–459. (in Chinese with English abstract)
- Wang YF(王艳芬), Chen ZZ(陈佐忠), Tieszen LT (1998). Distribution of soil organic carbon in the major grasslands Xilinguole, Inner Mongolia, China. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 22, 545–551. (in Chinese with English abstract)
- Yang X(杨昕), Wang MX(王明星) (2001). Reviews several as-

pects of terrestrial carbon cycling. *Advances in Earth Sciences* (地球科学进展), 16, 427 – 435. (in Chinese with English abstract)

Zhang N(张娜), Liang YM(梁一民) (2000). The effect of arid climate on the structure and above-ground growth of *Bothrichloa ischaemum* community. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 20, 964 – 970. (in Chinese with English abstract)

Zou L(周立), Wang QJ(王启基), Zhou Q(周琪) (1995a). Studies on the cycles of nonlinear oscillation behavior at the alpine meadow ecosystem. I. The power spectrum analysis and the fluctuation cycles of rainfall and primary productivity. *Alpine Meadow Ecosystem* (高寒草甸生态系统), 4, 219 – 239. (in Chinese with English abstract)

Zou L(周立), Wang QJ(王启基), Zhou Q(周琪) (1995b). Studies on the cycles of nonlinear oscillation behavior at the alpine meadow ecosystem. II. The power spectrum analysis of air temperature fluctuation and the relationship between its cycles and the fluctuation cycles of primary productivity. *Alpine Meadow Ecosystem* (高寒草甸生态系统), 4, 241 – 253. (in Chinese with English abstract)

Zhou XM(周兴民) (2001). *Kobresia Meadow in China* (中国嵩草草甸). Science Press, Beijing.

责任编辑：欧阳 华 责任编辑：张丽赫