

## 青藏高原高寒草甸土壤有机质、全氮和全磷含量对 不同土地利用格局的响应\*

张法伟, 李英年\*\*, 汪诗平, 赵新全

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

**摘要:** 草地土地利用格局的变化强烈影响着其土壤营养元素的含量与垂直分布。对青藏高原东北隅高寒草甸不同土地利用格局(封育植被、放牧利用和人工种植)下不同深度(0-10cm、10-20cm和20-40cm)的土壤有机质、全氮和全磷含量的对比研究表明:封育植被下土壤营养元素在表层和深层之间有显著差异( $P < 0.05$ ),与土壤深度表现出一定的负线性相关( $R^2 > 0.40, P < 0.05$ )。放牧利用和人工种植对营养元素在不同土壤层次的分布无显著影响( $P$ 均值  $> 0.05$ ),前者的有机质和全氮含量与土壤深度略呈负线性,后者则无此关系。放牧利用和人工种植较显著地( $P$ 均值  $< 0.05$ )降低了土壤表层有机质和全氮的含量,但增加了土壤表层全磷的含量,对土壤深层的影响较小。人工种植对营养元素含量的影响效果略大于放牧利用,但两者差异不显著。

**关键词:** 高寒草甸; 土地利用; 土壤有机质; 土壤全氮含量; 土壤全磷含量

## Response of Soil Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphor to Different Land Use Patterns in Alpine Meadow of Qinghai-tibetan Plateau

ZHANG Fa-wei, LI Ying-nian, WANG Shi-ping, ZHAO Xin-quan

(Northwest Institution of Plateau Biology, CAS, Xining 810001, China)

**Abstract:** The soil nutrient elements contents and vertical distributions are intensively influenced by the land use changes. According to the comparative research of the soil organic matter contents, total nitrogen and total phosphor in the different land use patterns, such as naturally-enclosed vegetation, grazing and cultivation, and in the different soil depths including 0-10cm, 10-20cm and 20-40cm. There were significant difference between the different soil depths and soil nutrient elements. The soil nutrient elements had a negative linear correlation with the soil depths ( $R^2 > 0.40, P < 0.05$ ) in the naturally-enclosed vegetation. The soil nutrient elements weren't significantly affected by grazing and cultivation (mean value of  $P$  above 0.05). In the land use pattern of the grazing, the contents of the soil organic matter and total nitrogen had a negative linear relationship with the soil depths, while it had not a linear relationship in the land use pattern of the cultivation. The organic matter contents and total nitrogen in the soil surface layer decreased, while the total phosphor significantly increased in the land use pattern of the grazing and cultivation (mean value of  $P$  below 0.05), but it was not change in the deep soil layer. Moreover, the influence of the cultivation on the soil nutrient elements was greater than that of the grazing, but not significantly.

**Key words:** Alpine meadow; Land use; Soil organic matter; Total nitrogen; Total phosphor

土地利用(Land Use)指依据土地生物、物理等的特点而发生的利用方式或潜在的利用目的,是造成当今地表覆盖变化的主要原因<sup>[1]</sup>。土地利用是自然条

件和人为活动的综合反映,对土壤质量、生物多样性和生物地球化学循环有着重要影响<sup>[2-3]</sup>。在“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球环境变化人文计

\* 收稿日期:2008-11-27 \*\* 通讯作者。E-mail: ynli@nwipb.ac.cn

基金项目:中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-06-01); 国家科技部支撑项目(2006BAC08B02); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KJ921-YW-432-1)

作者简介:张法伟(1981-),河南义马人,硕士,助理工程师,主要从事高寒草甸对全球气候变化响应的研究。

E-mail: flingzhang@gmail.com

划”(HDP)的推动下,土地利用于 1995 年被列为全球环境变化研究的核心领域。IPCC(2007)<sup>[4]</sup>指出 1990 年以后由于土地利用变化造成每年向大气释放 5.9GtCO<sub>2</sub>,其温室效应仅次于化石燃料燃烧排放,在全球变化中占据极其重要的影响地位。全球草地生态系统约占陆地面积的 1/3,其土地利用变化对土壤营养、质量<sup>[5-6]</sup>,土壤活性有机碳、碳贮量<sup>[7-9]</sup>,土壤微生物<sup>[10]</sup>,土壤种子库<sup>[11]</sup>等有着重要作用,同时也影响着生态系统的结构和功能,以及物质循环和能量流动<sup>[12-16]</sup>。

青藏高原作为世界第三极,高寒草甸面积约为  $0.48 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,占青藏高原面积的 19.2%,是当地畜牧业发展的主要基础<sup>[17]</sup>。由于畜牧业需求、草地退化和鼠害猖獗等因素,人工草地在青藏高原也有广泛分布。不同利用方式使土壤营养元素含量与分布发生明显的变化。董全民等<sup>[18-19]</sup>研究发现,高寒草甸夏季、冬季牧场不同放牧强度下土壤深度的营养元素和土壤含水量具有显著变化,李月梅等<sup>[20-21]</sup>分析表明,开垦种植能显著降低土壤有机碳的含量,并使其功能由碳汇转变为碳源。但有关放牧利用和人工种植等不同土地利用格局对高寒草甸土壤营养的综合分析则少有报道。因此,有必要深入对比研究放牧利用和人工开垦对高寒草甸土壤营养的影响。本文基于 2006 年 7 月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)附近按照不同土地利用格局(封育植被、放牧利用和人工种植)进行的随机采样和室内资料分析,深入了解其对土壤营养元素含量和分布的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验区自然概况

研究在海北站(37°37'N,101°19'E,3200m)附近进行。海北站地处青藏高原东北隅,年均气温 -1.7℃,夏季温暖多雨,最暖的 7 月平均气温 9.8℃;冬季寒冷干燥,最冷的 1 月平均气温 -14.8℃。年降水量约 580mm。土壤类型为草毡寒冻锥形土(Mat Cryo-sod Soil),呈微碱性,有机质含量丰富。植被类型以矮嵩草(*Kobresia humilis*)为建群种,主要优势种有垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、异针茅(*Stipa aliena*)。

### 1.2 样品采取与分析方法

样地的选取:实验共分 3 个处理,16 个采样区,其中 4 个封育植被(10a 以上的封育)、7 个放牧利用(10a 以上的冬季牧场)和 5 个人工种植(30a 以上的人工草场)。封育植被是在原生植被(高寒嵩草草甸)的基础上,进行网围栏封育,在冬春季或进行少许

放牧;放牧利用的采样点集中在冬季草场,每年 9 月至来年 5 月从事牧事活动(放牧强度约为 4 只羊/hm<sup>2</sup>);人工种植则在每年春季翻耕 20~30cm,5 月下旬播种,追施牛羊粪和尿素(总施肥量约为 200kg/hm<sup>2</sup>),9 月中旬收获。

土壤样品的采集:在各个采样区利用内径 7cm 的土钻随机进行 5 次重复随机采样,每个采样点的土壤分 3 层(0-10cm、10-20cm、20-40cm),然后将 5 次重复的采样按层混合均匀进行土壤有机质、全氮和全磷的室内分析。此次采样于 2006 年 7 月底完成。土壤有机质用重铬酸钾法测定,全氮采用重铬酸钾—硫酸消化法测定,全磷则采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—HClO<sub>4</sub>—钼锑抗比色法定量。数据比较采用 SPSS13.0(SPSS Inc, USA)的 One-Way ANOVA 模块进行方差分析,多重比较采用 LSD 进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 相同土地利用格局下不同层次间土壤营养元素差异分析

统计封育植被、放牧利用、人工种植 3 种土地利用格局下不同土壤层次土壤有机质、全氮、全磷的分布状况见表 1(下页)。由表中可见,在封育植被下,土壤营养元素在不同层次之间的差异部分达到显著水平。土壤有机质、全氮和全磷随土壤深度的增加降低明显。土壤有机质和全磷含量仅在 0-10cm 与 20-40cm 之间存在显著差异( $P < 0.05$ ),全氮含量在 0-10cm 与 10-20cm 间有显著差别( $P < 0.05$ ),在 0-10cm 与 20-40cm 之间差异极显著( $P < 0.01$ )。放牧利用和人工种植方式下,土壤营养元素在各个土壤层次间差异不显著。通过对放牧利用采取独立样本 T 检验,表明土壤有机质在 10-20cm 与 20-40cm 之间有显著差异( $P < 0.05$ ),其他层次之间的差异不显著( $P > 0.05$ );全氮在各个层次之间差异不显著;全磷在各个层次间也没有差异。在人工种植利用格局下,各个层次的营养元素也没有显著差异。

### 2.2 不同土地利用格局下相同层次间土壤营养元素差异分析

#### 2.2.1 土壤有机质含量

由表 1 可见,在封育植被下,土壤有机质含量随着土壤深度增加呈现极显著减少的线性变化趋势( $Y = -1.7x + 11, R^2 = 0.52, P < 0.01$ ),而放牧利用下线性关系为: $Y = -0.71x + 8.3 (R^2 = 0.22, P < 0.05)$ 。说明在一定程度上,人工种植较大程度改变了土壤有机质的分布,而放牧利用的影响效果较小。

表 1 相同利用格局下不同土壤层次间营养元素的差异分析

		0 - 10cm (Mean ± SE)	10 - 20cm (Mean ± SE)	20 - 40cm (Mean ± SE)
封育植被	有机质 (%)	<sup>a</sup> 9.1 ± 0.56 <sup>a</sup>	7.8 ± 0.24 <sup>ab</sup>	5.7 ± 0.26 <sup>b</sup>
	全氮 (%)	0.49 ± 0.026 <sup>Aa</sup>	0.33 ± 0.013 <sup>ABb</sup>	0.22 ± 0.012 <sup>Bb</sup>
	全磷 (%)	0.052 ± 0.0022 <sup>a</sup>	0.052 ± 0.0009 <sup>ab</sup>	0.033 ± 0.0034 <sup>b</sup>
放牧利用	有机质 (%)	<sup>ab</sup> 7.2 ± 0.31	7.5 ± 0.11	5.8 ± 0.19
	全氮 (%)	0.42 ± 0.021	0.34 ± 0.022	0.25 ± 0.020
	全磷 (%)	0.067 ± 0.0054	0.068 ± 0.0066	0.077 ± 0.0087
人工种植	有机质 (%)	<sup>b</sup> 5.1 ± 0.45	5.8 ± 0.54	5.3 ± 0.52
	全氮 (%)	0.41 ± 0.036	0.33 ± 0.037	0.26 ± 0.036
	全磷 (%)	0.086 ± 0.0080	0.077 ± 0.0077	0.080 ± 0.0059

注:数字前面的字母表示相同层次不同利用格局的比较,后面的字符表示不同层次相同利用格局的比较,小写字母表示  $P < 0.05$ ,大写字母表示  $P < 0.01$ ,不同字母差异显著,相同则不显著。

通过同层次不同格局土壤有机质的比较,在 0 - 10cm、10 - 20cm 两层中,封育植被的含量最大,放牧利用次之,人工种植最小。20 - 40cm 中,3 种利用格局基本无差别。方差分析的结果显示,仅在 0 - 10cm 层,人工种植和封育植被的差异显著 ( $P = 0.03$ )。随着土壤深度的增加,不同土地利用格局对土壤有机质的影响逐渐减小,10 - 20cm 和 20 - 40cm 土壤有机质 3 种利用格局差异不显著。

### 2.2.2 土壤全氮和全磷含量

封育植被的土壤全氮和全磷含量与土壤深度也具有一定的线性关系。全氮的线性方程为  $Y = -1.4x + 0.62$  ( $R^2 = 0.75, P < 0.01$ ),全磷为:  $Y = -43.4x + 4.0$  ( $R^2 = 0.41, P < 0.05$ )。至于不同土地利用格局下,只有放牧利用的全氮与土壤深度具有显著线性相关 ( $Y = -0.085x + 0.51, R^2 = 0.36, P < 0.05$ )。从全氮含量变化看,在 0 - 10cm 层,封育植被 > 放牧利用 > 人工种植;在 20 - 40cm 层,人工种植 > 放牧利用 > 封育植被,与表层的顺序恰好相反,但方差分析的结果表明两层各处理间的差异均不显著。全磷含量变化图形较为简单,从表层至深层始终是人工种植 > 放牧利用 > 封育植被,但其差异不显著。在 20 - 40cm 层,人工种植与封育植被之间差异接近显著水平 ( $P = 0.06$ ),其余层次 3 种利用格局下全磷之间差异不显著 ( $P = 0.2 \sim 0.9$ )。由于土壤中磷素比较稳定,三者的差值不大。方差分析结果表明,土地利用格局对全氮和全磷的影响不显著。

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

封育植被下的土壤有机质、全氮和全磷在土壤表层和深层之间差异显著,与土壤深度也具有一定的负

线性相关关系 ( $R^2 > 0.40, P < 0.05$ )。相对封育植被,放牧利用呈现出土壤有机质、全氮的含量减少和全磷的含量增加的趋势,但与封育植被的差异均不显著。有机质、全氮和全磷在不同土壤层次的分布差异均不显著,但通过 T 检验,前两者在不同土壤深度的分布具有显著差异,也与土壤深度之间存在弱的负线性相关 ( $R^2 < 0.40, P < 0.05$ )。人工种植进一步减少了土壤有机质、全氮的含量和增加了全磷的含量,但方差分析表明仅其土壤有机质与封育植被在 0 - 10cm 差异显著 ( $P < 0.05$ )。土壤营养元素在各个层次之间的分布无差异 ( $P > 0.5$ )。

### 3.2 讨论

#### 3.2.1 不同土地利用格局对土壤有机质的影响

土地利用格局的转变对土壤有机质的影响较为明显<sup>[3,7,9,18-21]</sup>。此次试验中,如果以封育植被作为参照状态,放牧利用和人工种植分别使高寒草甸有机碳降低了 8.7% 和 28.0% (不同层次的均值),但放牧利用的差异不显著。傅伯杰等<sup>[3]</sup>发现平原(河北遵化)的土壤有机质在放牧利用方式下降低 38%,远大于本文高寒草甸和的结果,但变化趋势均表现为降低。降低的程度也与董全民等<sup>[18-19]</sup>对高寒小嵩草草甸的研究结论一致。但由于两者放牧年限的差别(董全民等文中仅有 2a 放牧历史),有机质在各个层次的分布有所差异。本文在放牧利用方式下的结果表明,10 - 20cm 的有机质略高于表层 ( $P = 0.13$ ),董全民等则发现有机质依土壤深度递减。

由于风蚀和耕蚀作用,导致土壤表层的有机质氧化分解加速,因此人工种植的利用方式对草地土壤有机质的影响最为剧烈<sup>[7]</sup>。本文的研究结果也印证了这一点,与 Wu 等<sup>[6]</sup>对高寒草甸降低 27% 的研究结果

相仿,但远大于李月梅等<sup>[21]</sup>对 20a 人工草地降低 10.5% 的研究结果,具体差异应该是由于开垦历史的不同。由于高寒草甸的土壤有机质主要由腐殖质(>80%)、植物根系和粗有机物构成,而且腐殖质的垂直变化不明显<sup>[15]</sup>。放牧利用降低了土壤含水量,增加了土壤容重,对土壤表层的效果尤为显著,不利于植物根系和粗有机物的分解,降低了土壤有机质含量。人工种植降低了土壤中植物根系和粗有机物的含量,而且加速了表层腐殖质的分解。但到深层,放牧利用和人工种植对腐殖质的影响较小,而且此层中植物根系和粗有机物较少,因此两者与封育植被在次层中没有明显差别。

### 3.2.2 不同利用格局对土壤全氮和全磷的影响

高寒草甸全氮主要以有机氮形式贮存在较为稳定的土壤库中,植被氮素则大部分集中于活根<sup>[14]</sup>。适当的放牧可通过增加土壤氮素的矿化和粪尿归田增加土壤全氮的含量,但以动物产品和粪尿释放的形式转移量更大,因此降低了土壤全氮的含量。而人工种植一方面通过人工施肥和焚烧秸秆增加氮素,另一方面以作物收获形式丧失氮素。放牧和开垦对土壤氮素均有正负作用,因此影响较为复杂。放牧利用下土壤全氮含量与土壤深度间呈现较大的负线性相关,但相关程度则由 0.75 降至 0.36,减少了一半多。但放牧利用对全氮的影响较小,与封育植被的差异不显著,对其在土壤各个层次分布也无太大作用,仅使 0~10cm 与 10~20cm 之间的差异相对封育植被变得不显著。但与董全民等<sup>[18]</sup>差异显著的结果相反。人工种植也降低了表层土壤全氮含量(2%),但增加了深层的全氮含量(3%),差异均不显著。但放牧利用和人工种植等利用方式相对封育植被都增加了深层次全氮含量,只是后者增加的稍多,这与董全民等的<sup>[18]</sup>研究结果一致,即降低了土壤 C/N 值。

土壤全磷的含量则在放牧利用和人工种植的作用下,逐渐增多,相对封育植被两者分别增加 54% ( $P=0.09$ ) 和 78% ( $P=0.01$ ),但两者之间无显著差异。全磷在土壤各个层次的分布也没有显著差异。三种利用格局对全磷含量的影响仅在总量上有所差异,各个层次的分布也无显著差异。这是由于土壤中 P 是一个相对稳定的指标,其主要取决于土壤母质和类型。由于放牧利用和人工种植具有一定的施肥效应,增加了土壤 P 的含量,与 Wu 等<sup>[6]</sup>对高寒草甸的研究结果

一致,其全磷的含量在人工种植的方式下增加了 73%。

### 参考文献:

- [1] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,1999, 18(1): 81-87.
- [2] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. land use and land cover change[J]. Earth Science Frontiers,1997, 4: 26-33.
- [3] 傅伯杰,郭旭东,陈利顶,等. 土地利用变化与土壤养分的变化-以河北省遵化县为例[J]. 生态学报,2001, 21(6): 926-931.
- [4] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. New York: Cambridge University Press, 2007: 2-3.
- [5] Parfitt R L, Scott N A, Ross D J, et al. Land-use change effects on soil C and N transformations in soils of high N status: comparisons under indigenous forest, pasture and pine plantation [J]. Biogeochemistry,2003, 66(3): 203-221.
- [6] Wu R G, Tiessen H. Effect of Land Use on Soil Degradation in Alpine Grassland Soil, China[J]. Soil Science Society of America Journal,2002, 66: 1648-1655.
- [7] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响[J]. 植物生态学报,1998, 22(4): 300-302.
- [8] 陶贞,沈承德,高全洲,等. 土地利用变化对高寒草甸土壤有机质更新的影响[J]. 冰川冻土,2007, 29(2): 217-225.
- [9] 余万太,马强,赵鑫,等. 不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化[J]. 生态学杂志,2007, 26(12): 2013-2016.
- [10] Bedini S, Avio L, Argese E, et al. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2007, 120(2-4): 463-466.
- [11] Bekker R M, Verweij G L, Smith R E, et al. Soil seed banks in European grasslands: does land use affect regeneration perspectives[J]. Journal of Applied Ecology,1997, 34(5): 1293-1310.
- [12] Garnier E, Lavorel S, Ansquer P, et al. Assessing the effects of land-use change on plant traits, communities and ecosystem functioning in grasslands: A standardized methodology and lessons from an application to 11 European sites[J]. Annals. of Botany. ,2007, 99(5): 967-985. (下转第 334 页)

- 633-639.
- [4] 王绍武,董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M]. 北京: 科学出版社,2002:29-70.
- [5] 魏凤英, 张京江. 华北地区干旱的气候背景及其前兆信号[J]. 气象学报,2003,61(3): 354-363.
- [6] 王纯枝, 宇振荣, 毛留喜, 等. 基于能量平衡的华北平原农田蒸散量的估算[J]. 中国农业气象,2008, 29(1):42-46.
- [7] 张云娉, 刘爱梅, 苗志成, 等. 张家口近 47 年气候变化及其对水资源的影响[J]. 中国农业气象, 2008, 29(3): 277-280.
- [8] 范广洲, 吕世华, 程国栋. 华北地区夏季水资源特征分析及其对气候变化的响应(Ⅱ): 华北地区夏季水量丰、枯与气候变化的关系[J]. 高原气象,2002,21(1):45-51.
- [9] 宋正山, 杨辉, 张庆云. 华北地区水资源各分量的时空变化特征[J]. 高原气象,1999,18(4): 552-566.
- [10] 刘建栋, 王馥棠, 于强, 等. 华北地区农业干旱预测模型及其应用研究[J]. 应用气象学报,2003,14(5): 593-604.
- [11] 周连童, 黄荣辉. 华北地区降水、蒸发和降水蒸发差的时空变化特征[J]. 气候与环境研究,2006,11(3): 280-295.
- [12] 马柱国. 我国北方干湿演变规律及其与区域增暖的可能联系[J]. 地球物理学报,2005,48(5):1011-1018.
- [13] 龚宇, 邢开成, 王璞. 沧州地区近 40 年来气温和降水量的变化趋势分析[J]. 中国农业气象, 2008, 29(2): 143-145.
- [14] 徐桂玉, 杨修群, 孙旭光. 华北降水年代际、年际变化特征与北半球大气环流的联系[J]. 地球物理学报,2005,48(3):511-518.
- [15] 杨修群, 谢倩, 朱益民, 等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J]. 地球物理学报,2005,48(4): 789-797.
- [16] 毛睿, 龚道溢, 房巧敏. 冬季东亚中纬度西风急流对我国气候的影响[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 137-146.
- [17] 赵声蓉, 宋正山, 纪立人. 华北汛期降水与亚洲季风异常关系的研究[J]. 气象学报,2002,60(1):68-75.
- [18] 马柱国. 华北干旱化趋势及转折性变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. 科学通报,2007,52(10): 1199-1206.
- [19] 孙燕, 王谦谦, 钱永甫, 等. 华北地区夏季降水与全球海温异常的关系[J]. 高原气象,2006,25(6): 1127-1137.
- [20] 马京津, 高晓清, 曲迎乐. 华北地区春季和夏季降水特征及与气候相关的分析[J]. 气候与环境研究,2006, 11(3):321-329.
- [21] 施雅风. 气候变化对西北华北水资源的影响[M]. 济南: 山东科学出版社,1995:127-141.
- [22] 孙卫国. 气候资源学[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 150-220.
- [23] 高桥浩一郎. 从月平均气温、月降水量来推算蒸散发量的公式[J]. 天气(日本),1979,26(1): 29-32.
- [24] 张伟, 闫敏华, 陈泮勤, 等. 吉林省农作物生长季降水资源的时空分布特征[J]. 中国农业气象, 2007, 28(4): 359-363.
- [25] 徐宗学, 张玲, 阮本清. 北京地区降水量时空分布规律分析[J]. 干旱区地理,2006,29(2):186-192.
- [26] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义与检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-492.

~~~~~

(上接第 326 页)

- [13] 曹广民, 张金霞, 鲍新奎, 等. 高寒草甸生态系统磷素循环[J]. 生态学报,1999, 19(4): 514-518.
- [14] 张金霞, 曹广民. 高寒草甸生态系统氮素循环[J]. 生态学报,1999, 19(4): 509-513.
- [15] 张金霞, 曹广民, 周党卫, 等. 高寒矮嵩草草甸大气-土壤-植被-动物系统碳素储量及碳素循环[J]. 生态学报,2003, 23(4): 627-634.
- [16] 包桂荣, 白长寿, 高清竹, 等. 新疆伊犁河流域土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J]. 中国农业气象,2008, 29(2): 208-212.
- [17] 孙鸿烈. 青藏高原的形成演化[M]. 上海: 科学出版社, 1996: 168-192.
- [18] 董全民, 赵新全, 李青云, 等. 小嵩草高寒草甸土壤营养因子及水分含量对牦牛放牧率的响应 I 冬季草场土壤营养因子及水分含量的变化[J]. 土壤通报,2005, 36(4): 493-500.
- [19] 董全民, 赵新全, 李青云, 等. 小嵩草高寒草甸土壤营养因子及水分含量对牦牛放牧率的响应 I 夏季草场土壤营养因子及水分含量的变化[J]. 西北植物学报,2004, 24(12): 2228-2236.
- [20] 李月梅, 王跃思, 曹广民, 等. 开垦对高寒草甸土壤有机碳的初步研究[J]. 地理科学进展,2005, 24(6): 59-66.
- [21] 李月梅, 曹广民, 王跃思. 开垦对海北高寒草地土壤有机碳的影响[J]. 生态学杂志,2006, 25(8): 911-915.