西藏北部不同草地类型土壤碳、氮、磷的变化特征

周启龙[1,2]，多吉顿珠[1,2]，陈少锋[1,2]，益西央宗[1,2]，普布卓玛[1,2]

(1. 国家青稞与牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室，西藏 拉萨 850000；
2. 西藏自治区农牧科学院 草业科学研究所，西藏 拉萨 850000)

摘　要：[目的] 探讨西藏北部不同草地类型间土壤碳氮磷含量的分布规律和各养分间相互关系，为草地生态保护和评价提供理论依据。[方法] 通过S形土壤取样法对西藏北部不同草地类型的土壤样品进行采集，利用试验测定土壤的碳氮磷含量，基于SPSS进行方差分析和相关性分析。[结果] 山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸和山腰高寒草甸有机碳含量主要受海拔高度的影响，有机碳含量随着海拔高度的增加而增加，随土层深度加大而降低；有机碳与全氮有极显著正相关关系，相关系数为 0.968($p<0.01$)，不同草地类型间全氮含量趋势与有机质趋势相同；除高寒沼泽草甸，其他草地类型的有效氮与全氮分布规律相同，有效氮含量和全氮含量之间存在显著正相关关系，相关系数为 0.439($p<0.05$)。速效磷受全磷含量影响显著，速效磷与全磷的相关系数为 0.442，为极显著正相关关系；全磷含量受放牧影响，但放牧对速效养分的影响更加明显。[结论] 西藏北部不同草地类型土壤碳、氮、磷的具有一定的变化规律，草地退化与放牧强度具有一定联系。

关键词：西藏北部；草地类型；土壤养分；分布规律

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2019)03-0251-05　　**中图分类号**：S812.2，S158.3

文献参数：周启龙，多吉顿珠，陈少锋，等. 西藏北部不同草地类型土壤碳、氮、磷的变化特征[J]. 水土保持通报，2019，39(3)：251-255. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.041；Zhou Qilong，Duojidunzhu，Chen Shaofeng，et al. Changes of carbon，nitrogen and phosphorous in soils under different grassland types in Northern Tibet[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(3)：251-255.

Changes of Carbon，Nitrogen and Phosphorous in Soils Under Different Grassland Types in Northern Tibet

Zhou Qilong[1,2]，Duojidunzhu[1,2]，Chen Shaofeng[1,2]，Yixiyangzong[1,2]，Pubuzhuoma[1,2]

(1. *State Key Laboratory of Hulless Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement*，*Lhasa*，*Tibet* 850000，*China*；2. *Institute of Pratacultural Science*，*Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences*，*Lhasa*，*Tibet* 850000，*China*)

Abstract：[Objective] The distribution of carbon，nitrogen and phosphorous in soils under different grassland types and the relationships between different nutrients in Northern Tibet was explored in order to provide a theoretical basis for grassland protection and evaluation. [Methods] Soil samples of different grassland types in Northern Tibet were collected by s-shaped soil sampling method，and the carbon，nitrogen and phosphorus content of the soil was measured by test. Variance analysis and correlation analysis were conducted based on SPSS. [Results] The organic carbon in ridge alpine meadow，alpine shrub meadow and hillside alpine meadow was mainly affected by elevation. The organic carbon increased with elevation while decreased with soil depth. The organic carbon was significantly correlated with total nitrogen，and the correlation coefficient was 0.968($p<0.01$). The total nitrogen and organic matter had the same trend in different grassland types. Except alpine swamp meadow，the distribution pattern of available nitrogen and total nitrogen were the same that in other grassland types. There was a significantly positive correlated between available nitrogen and total nitrogen，and the correlation coefficient was 0.439 ($p<0.05$). Rapidly available phosphorus was significantly positive correlated with total phosphorus，and the correlation coefficient was 0.442. The total

收稿日期：2018-07-11　　**修回日期**：2018-12-10

资助项目：国家牧草产业技术体系拉萨综合试验站项目(CARS-34)；国家重点研发计划项目“青藏高原社区天然草地保护与利用关键技术研究”(2018YFD0502401)

第一作者：周启龙(1988—)，男(汉族)，吉林省榆树市人，助理研究员，硕士，从事植被恢复方面的研究。E-mail：qilong_zhou@163.com。

通讯作者：多吉顿珠(1980—)，男(藏族)，西藏自治区日喀则市人，副研究员，硕士，从事植被恢复方面的研究。E-mail：782034969@qq.com。

phosphorus content was affected by grazing, but the effect of grazing on available nutrients was more obvious. [Conclusion] The carbon, nitrogen and phosphorous of different grassland in Northern Tibet shows a regular change, grassland degradation has a certain correlation with grazing intensity.

Keywords: Northern Tibet; grassland type; soil nutrients; distribution pattern

草原是畜牧业最廉价饲料来源,还具有防风固沙、涵养水源、防治水土流失等作用,是重要的国土资源[1]。高寒草原是西藏北部的主要植被类型,也是西藏主要放牧区,对西藏畜牧业的发展具有重要意义[2]。土壤有机碳在全球碳循环上有着重要的作用,其含量影响着草地生产力,是草地健康评价的重要指标之一[3]。土壤的氮在全球氮循环中也有着重要的作用[4],并能够限制群落的初级和次级生产量,且氮元素在陆地生态系统生产量、结构和功能方面的调节具有关键作用[5]。磷的存在对草原生态系统的正常运行具有重要作用,大部分的草地缺磷,磷成为了植物生长的限制因素之一[6-7],因此对西藏不同植被类型下的养分进行研究是十分必要的。目前,对西藏典型草地类型的土壤养分方面的研究很少,只有顾振宽等[8]对青藏高原东部不同草地类型土壤养分的分布规律进行了研究,而关于藏北典型草地类型的碳、氮、磷研究更少。因此,对藏北地区典型草地类型土壤养分进行研究对草地生态系统的评价和生态保护具有重要意义。本研究拟以藏北地区典型草地作为研究对象,针对不同草地类型,对土壤养分进行研究,旨在为草地生态保护和评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏自治区当雄县羊八井镇格达乡内的雪格拉山(90°45′—91°31′E,29°31′—31°04′N)。冬季寒冷、干燥,昼夜温差大;年均温度 1.3 ℃,年均降雨量 4 56.8mm,年均蒸发量 1 725.7 mm,年均日照时数 2 880.9 h,无霜期 62 d,从头年 11 月至翌年 3 月份有 3 个月的土地冻结期,大雪、冰雹、霜冻、干旱、大风等自然灾害频繁。属高原寒温带半干旱季风气候区,冬寒夏凉,多大风。雪格拉山海拔 4 450～5 300 m,不同草地类型随海拔高度不同而变化。海拔 4 450～4 500 m为高寒沼泽草甸,海拔 4 500～4 650 m为山腰高寒草甸,海拔 4 650～4 750 m 为高寒灌丛草甸,海拔 4 750～4 950 m 为山脊高寒草甸。不同草地类型的基本情况见表 1。

1.2 取样方法

2017 年 8 月在雪格拉山 4 个草地类型分别进行采样,采样点选择标准为人为干扰少、植被均匀,并记录经纬度、海拔。每个草地类型随机设置 3 个样地,每个样地设置 100 m×100 m 的大样方,每个样方内按照 S 形设置小样方运用土钻进行土壤取样,每个小样方取两个点,每个点取 3 层,分别为 0—10,10—20,20—40 cm,带回实验室。每个草地类型均重复取样 10 次。

1.3 样品测定方法

土壤有机碳采用重铬酸钾容量法;土壤全氮采用凯氏定氮法;土壤有效氮测定采用碱解扩散法;全磷的测定采用钼锑抗比色法;土壤速效磷用钼锑抗比色法进行测量。

1.4 数据处理

数据处理用 Excel 和 SPSS17.0 进行统计分析。

表 1 西藏北部不同草地类型基本状况

草地类型	优势种	海拔/m	利用方式
山脊高寒草甸	矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、多头委陵菜(*Potentilla multiceps*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)	4 900～5 300	少放牧
高寒灌丛草甸	金露梅(*Potentilla fruticosa*)、火绒草(*Leontopodium leontopodioides*)、矮生嵩草(*Kobresia humilis*)	4 750～4 900	有放牧
山腰高寒草甸	矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、点地梅(*Androsace umbellata*)	4 550～4 750	放牧频繁
高寒沼泽草甸	藏北嵩草(*Kobresia littledalei*)、矮生嵩草(*Kobresia humilis*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、独一味(*Lamiophlomis rotata*)	4 450～4 550	放牧频繁

2 结果与分析

2.1 不同草地类型下不同土层土壤有机碳含量的分布

如表 2 所示,随着草地类型和土壤深度的变化,土壤的有机碳含量有所不同。0—10 cm 土层有机碳由高到低依次为高寒沼泽草甸、山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸、山腰高寒草甸,其中高寒沼泽草甸有机碳含量最高,显著高于其他草地类型($p<0.05$),高寒灌丛草甸有机碳含量与山脊高寒草甸、山腰高寒草甸之间差异不显著($p>0.05$)。10—20 cm 土层有机碳含量由高到低依次为高寒沼泽草甸、山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸、山腰高寒草甸,并且四者间差异均显著。

20—40 cm 土层有机碳含量由高到低依次为高寒沼泽草甸、山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸、山腰高寒草甸,其中高寒沼泽草甸有机碳含量显著高于山脊高寒草甸、山脊高寒草甸有机碳含量显著高于高寒灌丛草甸和山腰高寒草甸,高寒灌丛草甸与山腰高寒草甸间差异不显著。

表 2　不同草地类型不同土层土壤有机碳含量　g/kg

草地类型	不同土层深度有机碳含量		
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
山脊高寒草甸	45.19 ± 31.19^{bA}	23.78 ± 5.46^{bB}	16.35 ± 5.69^{bC}
高寒灌丛草甸	20.43 ± 4.24^{bcA}	14.9 ± 1.86^{cAB}	11.9 ± 3.43^{bcB}
山腰高寒草甸	11.29 ± 1.48^{cA}	9.28 ± 0.96^{dB}	6.4 ± 0.25^{cC}
高寒沼泽草甸	91.9 ± 2.67^{aA}	93.47 ± 1.6^{aA}	41.13 ± 0.1^{aB}

注:数据为均值±标准差;大写字母表示土层间差异($p<0.05$),小写字母为不同草地类型间差异($p<0.05$)。下同。

不同草地类型垂直分布方面,山脊高寒草甸和山腰高寒草甸的有机碳含量都随着土壤深度的增加而降低,且差异显著。高寒灌丛草甸有机碳含量随着土壤深度的增加而降低,但 10—20 cm 土层与 0—10 cm 土层和 20—40 cm 土层差异不显著,0—10 cm 土层有机碳含量显著高于 20—40 cm 土层。高寒沼泽草甸有机碳含量最高的是 10—20 cm 土层,但与 0—10 cm 土层有机碳含量差异不显著,0—10 cm 土层和 10—20 cm 土层都显著高于 20—40 cm 土层。

2.2　不同草地类型下不同土层土壤氮含量的分布

如表 3 所示,不同草地类型和不同土壤深度的全氮含量不同。全氮含量由高到低依次为高寒沼泽草甸、山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸、山腰高寒草甸,高寒沼泽草甸全氮含量最高。其中,10—20 cm 土层四者间全氮含量差异均显著($p<0.05$),0—10 cm 与 20—40 cm 土层高寒沼泽草甸全氮含量显著高于山脊高寒草甸,山脊高寒草甸全氮含量显著高于高寒灌丛草甸,高寒灌丛草甸与山腰高寒草甸间全氮含量差异不显著($p>0.05$)。高寒灌丛草甸和山腰高寒草甸不同土层间全氮含量差异不显著,高寒沼泽草甸不同土层间全氮含量在 0—10 cm 土层显著高于 10—20 cm,在 10—20 cm 土层显著高于 20—40 cm。山脊高寒草甸不同土层全氮含量在 0—10 cm 土层显著高于 20—40 cm,在 10—20 cm 土层与其他二者差异不显著。

表 3　不同草地类型不同土层土壤全氮含量　g/kg

草地类型	不同土层深度全氮含量		
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
山脊高寒草甸	3.03 ± 0.65^{bA}	2.43 ± 0.47^{bAB}	1.87 ± 0.55^{bB}
高寒灌丛草甸	1.8 ± 0.46^{cA}	1.86 ± 0.12^{cA}	1.3 ± 0.2^{cA}
山腰高寒草甸	1.16 ± 0.47^{cA}	1.37 ± 0.15^{dA}	1.1 ± 0.1^{cA}
高寒沼泽草甸	7.27 ± 0.65^{aA}	6.48 ± 0.7^{aB}	2.84 ± 0.23^{aC}

如表 4 所示,不同草地类型在 0—10 cm 土层有效氮含量最高为山脊高寒草甸,山脊高寒草甸有效氮显著高于山腰高寒草甸和高寒沼泽草甸($p<0.05$),高寒灌丛草甸有效氮与山腰高寒草甸、高寒沼泽草甸差异不显著($p>0.05$)。不同草地类型有效氮含量在 10—20 cm 土层最高为高寒灌丛草甸,高寒灌丛草甸有效氮含量显著高于山腰高寒草甸显著高于、山脊高寒草甸和高寒沼泽草甸,其余三者间有效氮含量差异不显著。不同草地类型在 20—40 cm 土层有效氮含量最高的仍为山腰高寒草甸。山脊高寒草甸随着土层的加深有效氮含量显著降低,其他草地类型虽有降低趋势,但并不明显。

表 4　不同草地类型不同土层土壤有效氮含量　mg/kg

草地类型	不同土层深度有效氮含量		
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
山脊高寒草甸	40.87 ± 10.24^{aA}	24.98 ± 1.53^{bB}	25.14 ± 0.64^{abB}
高寒灌丛草甸	37.57 ± 3.55^{abA}	33.84 ± 5.14^{aA}	30.21 ± 4.19^{aA}
山腰高寒草甸	27.43 ± 7.76^{bA}	28.43 ± 5.8^{bA}	24.39 ± 5.33^{abA}
高寒沼泽草甸	25.24 ± 4.53^{bA}	23.92 ± 1.89^{bB}	22.74 ± 5.62^{bC}

2.3　不同草地类型下不同土层土壤磷含量的分布

如表 5 所示,不同草地类型间全磷含量在 0—10 cm 土层为高寒灌丛草甸显著高于高寒沼泽草甸($p<0.05$),山脊高寒草甸与其他草地类型间差异不显著($p>0.05$),山腰高寒草甸全磷含量与其他草地类型间差异不显著。10—20 cm 土层 4 种草地类型间差异不显著。20—40 cm 土层山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸与山腰高寒草甸间全磷含量不显著,但均显著高于高寒沼泽草甸。高寒灌丛草甸不同土层全磷含量从高到低的顺序为 0—10,10—20,20—40 cm,且差异显著,其他 3 种草地类型不同土层间全磷含量差异均不显著。

表 5　不同草地类型不同土层土壤全磷含量　g/kg

草地类型	不同土层深度全磷含量		
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
山脊高寒草甸	1.03 ± 0.12^{abA}	0.7 ± 0.52^{aA}	0.9 ± 0.2^{aA}
高寒灌丛草甸	1.23 ± 0.11^{aA}	0.97 ± 0.58^{aA}	0.93 ± 0.06^{aA}
山腰高寒草甸	0.93 ± 0.15^{abA}	0.87 ± 0.21^{aA}	0.89 ± 0.25^{aA}
高寒沼泽草甸	0.73 ± 0.01^{bA}	0.55 ± 0.11^{aB}	0.32 ± 0.01^{bC}

如表 6 所示,不同草地类型在 0—10 cm 土层速效磷含量从高到低依次为高寒灌丛草甸、山脊高寒草甸、山腰高寒草甸、高寒沼泽草甸,高寒灌丛草甸速效磷含量显著高于高寒沼泽草甸($p<0.05$),山脊高寒草甸、山腰高寒草甸间速效磷含量差异不显著($p>$

0.05),且与山脊高寒草甸和高寒沼泽草甸差异也不显著。不同草地类型速效磷含量在 10—20 cm 土层从高到低依次为高寒灌丛草甸、山脊高寒草甸、山腰高寒草甸、高寒沼泽草甸,高寒灌丛草甸、山脊高寒草甸、山腰高寒草甸 3 者间速效磷含量差异不显著,但都显著高于高寒沼泽草甸。不同草地类型在 20—40 cm 土层速效磷含量由高到低依次为高寒灌丛草甸、山腰高寒草甸、山脊高寒草甸、高寒沼泽草甸,高寒灌丛草甸显著高于山脊高寒草甸和高寒沼泽草甸,山腰高寒草甸显著高于高寒沼泽草甸,山腰高寒草甸速效磷含量与高寒灌丛草甸和山脊高寒草甸差异不显著,山脊高寒草甸与高寒沼泽草甸速效磷含量差异不显著。高寒灌丛草甸、山脊高寒草甸、高寒沼泽草甸不同土层间速效磷含量差异不显著,山腰高寒草甸 0—10 cm 土层速效磷含量显著低于 10—20 cm 和 20—40 cm 土层,10—20 cm 和 20—40 cm 土层速效磷含量差异不显著。

表 6 不同草地类型下不同土层土壤速效磷含量 mg/kg

草地类型	不同土层深度速效磷含量		
	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
山脊高寒草甸	1.88 ± 1.73^{abA}	1.28 ± 0.16^{aA}	0.85 ± 0.22^{bcA}
高寒灌丛草甸	2.76 ± 0.86^{aA}	2.2 ± 1.11^{aA}	2.06 ± 0.86^{aA}
山腰高寒草甸	1.11 ± 0.21^{abB}	1.74 ± 0.12^{aA}	1.63 ± 0.11^{abA}
高寒沼泽草甸	0.81 ± 0.02^{bA}	0.92 ± 0.002^{bA}	0.86 ± 0.01^{cA}

2.4 雪格拉山各养分的相关关系

雪格拉山各养分间,有机碳与全氮有极显著正相关关系,相关系数为 0.968($p<0.01$),与速效氮有显著正相关关系,相关系数为 0.462($p<0.05$),全氮与速效氮呈显著正相关关系($r=0.439$),全磷与速效磷呈极显著正相关关系($r=0.442$)(表 7)。

表 7 雪格拉山各养分的相关关系

养 分	有机碳 SOM	全氮 TN	速效氮 AN	全磷 TP	速效磷 RAP
有机碳 SOM	1	0.968**	0.462*	−0.304	0.290
全氮 TN		1	0.439*	0.275	0.267
速效氮 AN			1	0.118	0.118
全磷 TP				1	0.442**
速效磷 RAP					1

注:* 表示各养分间差异显著($p<0.05$),** 表示各养分间差异极显著($p<0.01$)。

3 讨 论

土壤有机碳的含量由海拔和植被类型共同作用。当植物残体进入土壤后,发生分解和淋溶作用,这个过程的快慢决定了有机碳最终的含量。植被类型和海拔决定了植物残体进入土壤的总量,海拔同时改变了气候要素而决定了分解和淋溶速度[9]。本研究中有机碳含量最高的草地类型是高寒沼泽草甸,土壤有机碳的主要来源是植物残体的凋落分解[10],高寒沼泽草甸的主要植被为藏北嵩草,经年累月,积累了大量植物残体,是有机碳的主要来源,且沼泽地内植物残体分解速度慢,最终使有机碳的含量变得很高。山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸和山腰高寒草甸有机碳含量主要受海拔的影响,随着海拔的增加,有机碳含量在增加,主要是由于气温低引起的植物残体分解速度慢,这与 smith 等[11] 丁咸庆等[12] 的研究是一致的。除高寒沼泽草甸外有机碳含量均随着土层加深,有机碳含量降低,这是由于土壤根系主要集中于表面且凋落物先落于地面上导致的,这与许多学者的研究是一致的[13-14]。但高寒沼泽草甸 10—20 cm 土层有机碳含量略高于 0—10 cm 土层,这可能与沼泽地中根系主要集中在 10—20 cm 土层有关。

不同草地类型的土壤全氮含量表现不同,鲁如坤[15]认为土壤氮的积累和消耗程度取决于土壤有机碳的积累和分解,这与本研究一致,有机碳与全氮呈极显著正相关关系,与速效氮呈显著正相关关系。全氮含量主要受氮素的硝化与反硝化,矿化与固定的影响,植物残体、动物排泄物等归还土壤,又通过植物吸收、侵蚀和淋溶等方式从土壤中消失,水热条件和土壤特性最终影响着土壤氮的含量[16]。在不同土层深度上,土壤全氮含量差异表现虽不及有机碳含量变化明显,但仍有降低的趋势,说明有机碳和全氮之间存在内在影响。本研究中高寒沼泽草甸全氮含量 0—10 cm 土层最高,有着明显的分层效果,这说明沼泽草甸中不同深度的土壤的水分含量区别不大,氮素的含量主要受植物残体含量影响。山脊高寒草甸、山腰高寒草甸和高寒灌丛草甸的全氮含量随着土层的加深变化并不显著,这可能主要受气候因素的影响比较大。有效氮是指植物可利用的氮,王淑平等[17]认为土壤有效氮含量与土壤全氮含量呈极显著正相关,但这与本研究结果一致,雪格拉山的有效氮含量和全氮含量之间存在显著正相关关系,相关系数 $R=0.439^{*}$。全氮受海拔梯度影响明显,随着海拔的增加,高寒草甸的全氮含量增加。

不同草地类型全磷含量不同,整体表现为高寒灌丛草甸最高,高寒沼泽草甸最低,山脊高寒草甸高于山腰高寒草甸。家畜频繁的采食使磷从系统中的输出加强,最终导致全磷含量下降[18]。高寒沼泽草甸和山腰高寒草甸农牧民放牧频繁,这可能是全磷含量

低的原因,速效磷受全磷含量影响显著,速效磷与全磷的相关系数 $R=0.442$,为极显著正相关关系。从空间变化上看,全磷除高寒沼泽草甸外,没有显著的分层现象,速效磷在不同土层差异并不显著。

放牧强度强烈影响着高寒草甸土壤养分含量,土壤有机碳、全氮、速效氮、磷等养分都会随着放牧强度的增大而减少[19],本研究中放牧对速效养分的影响更加明显,山脊高寒草甸表层土的速效磷和有效氮明显高于下层土,分层明显,但山腰高寒草甸表层土的速效磷和有效氮低于其在 10—20 cm 土层中的含量,说明放牧频繁使速效养分降低。

4　结 论

(1) 山脊高寒草甸、高寒灌丛草甸和山腰高寒草甸有机碳含量主要受海拔的影响,有机碳含量随着海拔的增加而增加,随土层加深而降低;

(2) 有机碳与全氮有极显著正相关关系,相关系数为 0.968($p<0.01$),不同草地类型间全氮含量趋势与有机质趋势相同;

(3) 除高寒沼泽草甸,其他草地类型的有效氮与全氮分布规律相同,有效氮含量和全氮含量之间存在显著正相关关系,相关系数 $R=0.439$($p<0.05$)。速效磷受全磷含量影响显著,速效磷与全磷的相关系数 $R=0.442$,为极显著正相关关系。

(4) 全磷含量受放牧影响,但放牧对速效养分的影响更加明显,山脊高寒草甸表层土的速效磷和有效氮明显高于下层土,分层明显,但山腰高寒草甸表层土的速效磷和有效氮低于其在 10—20 cm 土层中的含量,说明放牧频繁使速效养分降低。

[参 考 文 献]

[1] 苏大学. 西藏自治区草地资源[M]. 北京:科学出版社,1994. 1-5.

[2] 周启龙. 西藏藏北地区不同草原类型区土壤理化性质特征研究[J]. 安徽农业科学,2016,44(20):124-125,142.

[3] 傅华,陈亚明,王彦荣,等. 阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报,2004,24(3):469-476.

[4] Dormaar J F, Smoliak S, Willms W D. Distribution of nitrogen fractions in grazed and ungrazed fescue grassland Ah horizons. [J]. Journal of Range Management, 1990,43(1):6-9.

[5] Näsholm T, Ekblad A, Nordin A, et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen[J]. Nature, 1998, 392 (6679):914-916.

[6] Kurz I, O'Reilly C D, Tunney H. Impact of cattle on soil physical properties and nutrient concentrations in overland flow from pasture in Ireland[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2006,113(1):378-390.

[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):90-98.

[8] 顾振宽. 青藏高原东缘不同植被类型及放牧管理下土壤养分的分布研究[D]. 兰州:兰州大学,2012.

[9] 艾丽,吴建国,刘建泉,等. 土壤有机碳和全氮含量及其与海拔、植被和气候要素的关系:以祁连山中段北坡为研究对象[J]. 中国园艺文摘,2010,26(3):27-34.

[10] Jackson R B, Schenk H J, Jobbágy E G, et al. Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models [J]. Ecological Applications, 2000,10(2):470-483.

[11] Smith J L, Halvorson J J, Jr H B. Soil properties and microbial activity across a 500 m elevation gradient in a semi-arid environment[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002,34(11):1749-1757.

[12] 丁咸庆,马慧静,朱晓龙,等. 大围山不同海拔森林土壤有机碳垂直分布特征[J]. 水土保持学报,2015,29(2):258-262.

[13] 李明峰,董云社,耿元波,等. 草原土壤的碳氮分布与 CO_2 排放通量的相关性分析[J]. 环境科学,2004,25(2):7-11.

[14] 刘伟,程积民,高阳,等. 黄土高原草地土壤有机碳分布及其影响因素[J]. 土壤学报,2012,49(1):68-76.

[15] 鲁如坤. 土壤—植物营养学[M]. 北京:化学工业出版社,1998. 45-67.

[16] 傅华,裴世芳,张洪荣. 贺兰山西坡不同海拔梯度草地土壤氮特征[J]. 草业学报,2005,14(6):50-56.

[17] 王淑平,周广胜,吕育财,等. 中国东北样带(NECT)土壤碳、氮、磷的梯度分布及其与气候因子的关系[J]. 植物生态学报,2002,26(5):513-517.

[18] 何贵永,孙浩智,史小明,等. 青藏高原高寒湿地不同季节土壤理化性质对放牧模式的响应[J]. 草业学报,2015,24(4):12-20.

[19] 益西措姆,许岳飞,付娟娟,等. 放牧强度对西藏高寒草甸植被群落和土壤理化性质的影响. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(6):27-33.