

# 青海湖区紫花针茅草原封育导致的土壤养分时空变化特征\*

李以康<sup>1,2,3</sup> 张法伟<sup>1,3</sup> 林丽<sup>1,3</sup> 王溪<sup>1,3</sup> 曹广民<sup>1,3</sup> 郭晓伟<sup>1,2,3</sup>  
韩道瑞<sup>1,2,3</sup> 陈桂琛<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>中国科学院西北高原生物研究所 西宁 810008)

<sup>2</sup>中国科学院研究生院 北京 100049)

<sup>3</sup>中国科学院高原生物适应与进化重点实验室 西宁 810008)

**摘要** 封育导致的生态系统恢复会体现在土壤恢复. 以不同封育年限的青海湖区紫花针茅草原为对象, 研究封育导致的土壤养分时空变化特征. 结果表明: 同一样地速效氮、速效磷和速效钾都表现为表层含量最高, 显著高于第Ⅱ层, 下面几层之间差异不显著; 封育对速效养分含量影响不同, 对速效钾含量影响不大, 而速效磷含量大多显著提高, 封育样地速效氮含量稍微高于对照样地. 全量养分相比较, 封育对土壤全钾和全磷含量影响不大, 随土层加深全氮含量降低, 封育导致土壤表层全氮含量升高(提高了19.9%). 有机质含量随土层加深而降低, 长期封育导致土壤有机质含量增加. 相关分析表明, 速效钾和全钾含量之间相关不显著, 速效磷和全磷、速效氮和全氮含量都表现出显著相关, 有机质和全量养分之间只有全氮表现出了显著相关. 封育后土壤pH值略有升高; 随着土层加深, 土壤容重升高, 但土壤容重变化不大. 封育使草原土壤养分含量增加, 但是养分的增加是一个非常缓慢的过程, 对草原的保护还需继续加强. 图1 表1 参25

**关键词** 青海湖区; 封育; 土壤养分; 紫花针茅草原; 草地退化; 土壤恢复; 碳循环  
CLC S812.2 (244)

## Spatiotemporal Variation in Soil Nutrient of *Stipa purpurea* Steppe Fenced in the Qinghai Lake Region\*

LI Yikang<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Fawei<sup>1,3</sup>, LIN Li<sup>1,3</sup>, WANG Xi<sup>1,3</sup>, CAO Guangmin<sup>1,3</sup>, GUO Xiaowei<sup>1,2,3</sup>,  
HAN Daorui<sup>1,2,3</sup> & CHEN Guichen<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

<sup>2</sup>Graduated University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

<sup>3</sup>Key laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

**Abstract** Soil restoration is a major aspect of ecological restoration. The study was conducted in *Stipa purpurea* steppe fenced for years, to detect the spatiotemporal variation of soil nutrient after fencing. The results showed that in the same plot the contents of available N, P and K in surface layer significantly higher than those in the second layer, and there were no significant differences among the lower layers. Fencing had different effects on different available nutrients: It had little effect on available K, however, the content of available P was mostly higher than that of CK, and the content of available N was a bit higher than that of CK. Fencing had little effects on the content of total K and total P, while the content of total N decreased with soil depth, and was higher than that of CK in the surface layer after fencing (increased by 19.9%). The content of soil organic matter (SOM) decreased with soil depth, and long time fencing resulted in the elevation of SOM content. Correlation analysis showed that the contents of available K and total K had no significant correlation, the contents of available P and total P, available N and total N both showed significant correlation, and SOM only showed significant correlation with total nitrogen among total nutrients. And fencing resulted in slightly elevation of pH value; Soil bulk density increased with soil depth, but no significant difference was found between fencing and CK. Fencing resulted in elevation of soil nutrient, but it was a very slow course, so the protection for *Stipa purpurea* steppe should be preceded. Fig 1, Tab 1, Ref 25

**Keywords** Qinghai Lake Region; fencing; soil nutrient; *Stipa purpurea* steppe; grassland degradation; soil restoration; carbon cycle  
CLC S812.2 (244)

收稿日期: 2010-12-27 接受日期: 2011-08-23

\*国家中西部专项 (No. 2001BA901A47)、中国科学院战略性先导科技专项 (No. XDA05050404)、中国科学院知识创新重要方向性项目 (No. KZCX2-YW-Q1-06) 和全球气候变化生物学研究 (No. KSCX2-YW-Z-1020) 资助 Supported by the Special Project for Midwestern China (No. 2001BA901A47), the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (CAS) (No. XDA05050404), the Knowledge Innovation Project of CAS (No. KZCX2-YW-Q1-06) and the Research on Biology under Global Climate Change of CAS (No. KSCX2-YW-Z-1020)

\*\*通讯作者 Corresponding author (E-mail: gcchen@nwipb.ac.cn)

青藏高原生态系统为放牧生态系统,如何既要保护好生态环境又要兼顾当地牧民的生活和促进社会发展,是迫切需要解决的问题。草原退化在世界各国普遍存在<sup>[1]</sup>,草地退化包括植被退化和土壤退化<sup>[2-4]</sup>,严重影响到生态系统的功能和服务。封育保护措施是保持生物多样性和其他功能的重要措施<sup>[5]</sup>。青藏高原草地退化的直接因素多为过度放牧,因此围栏封育和减轻放牧成为恢复退化程度不是很严重的高寒草原的有效措施。长期以来人们更关注地上生物量和生物多样性等方面的研究,对恢复草地土壤养分循环动态研究相对较少,而有效的草地恢复管理措施实施必须建立在对养分循环动态充分理解的基础上<sup>[6]</sup>。人类活动能够在许多生态系统中导致氮循环的剧烈改变<sup>[7]</sup>。Zhou等对沙漠灌丛的研究表明,多年减轻放牧的措施导致0~30 cm土层碳和氮储量显著增加,并且与植被丰富度、盖度和生物量显著相关,但土壤恢复时间滞后于植被恢复<sup>[8]</sup>;植被恢复措施能够促进碳固定<sup>[9]</sup>,土壤质量的改变与地表植被变化相关<sup>[10-11]</sup>。

青海湖地区由于其特殊的地理位置和独特的生态类型,成为我国生态安全战略格局的一道重要屏障。近百年来,在气候变化和人类活动的双重因素下,湖面水位逐年下降,导致湖区生态环境恶化等一系列问题,青藏高原环青海湖地区对气候变化的敏感性和脆弱性逐渐强化,在全球气候变暖及人类无序活动的剧烈影响下草地大面积退化<sup>[12]</sup>,其周围草原沙化面积日趋扩大,植被破坏<sup>[13-14]</sup>,草地平均植被覆盖度下降明显,草地第一性生产力降低<sup>[12]</sup>。以往对青海湖地区草原研究多集中在地上群落生物量变化、生物多样性<sup>[15-17]</sup>等地上的研究,而对多年封育所导致的土壤理化成分的异质性变化很少涉及。本研究以空间代替时间的研究方法,对青海湖周围进行多年围封后自然演替的典型退化草原进行研究,探讨草地土壤养分的动态变化特征,明晰演替过程中土壤养分演替特征,以加深对退化高寒草原恢复规律的理解,丰富高寒草原恢复理论,为典型退化高寒草原的生态恢复和可持续利用提供参考和科学依据。

## 1 研究区域与方法

### 1.1 研究区域概况

青海湖流域位于青藏高原东北部,地理位置介于北纬36°15'~38°20',东经97°50'~101°20'之间,整体呈椭圆形,自西北向东南倾斜,是一个封闭的内陆盆地<sup>[11]</sup>。湖区属半干旱的温带大陆性气候,海拔较高,气温偏低,寒冷期长,没有明显四季之分,太阳辐射强烈,气温日差大,干旱少雨。样地所在地刚察县气象观测资料分析表明,这一地区多年平均气温为-0.5℃,极端最高温25℃,极端最低温-31℃,≥0℃的年积温为1299℃,多年平均降水量为370.3 mm,年蒸发量607.4 mm,平均风力大于8级<sup>[9]</sup>,土壤类型在湖盆地带以栗

钙土为主,四周山地为高山灌丛草甸土和高山草甸土,海拔4000 m以上分布有高山荒漠土等。相应的植被类型有草原、高寒灌丛、高寒草甸、高寒流石坡植被等<sup>[20]</sup>。本实验选择青海湖北岸青海省三角城种羊场地区的退化高寒草原——紫花针茅+草地早熟禾(*Stipa purpurea* + *Poa pratensis*)草原为对象,围栏样地分别围封了6 a和30 a。经过多年封育,草原植被已经发生了变化,封育6 a草原的植物种类主要有紫花针茅、三辐柴胡(*Bupleurum triradiatum*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、虬果芥(*Neotorularia humilis*)等,植被盖度40%。30 a封育草地的植物种类有线叶嵩草(*Kobresia duthiei*)、冷地早熟禾(*Poa crymophila* Keng)、紫花针茅、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)、甘肃棘豆(*Oxytropis kansuensis*)、甘肃黄芪(*Astragalus licentianus*)等,植被盖度55%。而对照样地位于围栏边外的放牧通道上,为天然草地,自由放牧。狼毒(*Stellera chamasejasme*)盖度占盖度总数的30%,其他植物有三辐柴胡、甘肃棘豆、紫花针茅、异叶青兰等。

### 1.2 研究内容与方法

分别选取青海省刚察县三角种羊场的3个研究区域,封育期分别为6 a、30 a的样地(均为冬春草场)和封育样地外天然草地为实验样地(表1),样地面积均为100 m × 100 m,土壤类型均为栗钙土。

2009年9月中旬,在上述3个样地内选择地势平缓、微地形差异小的地点取样,土样获得采用土钻法。土钻直径7 cm,在一个取样点上打9钻合并为一个样品,分层取样,10 cm为一层,40~60 cm土层作为一层,每个样地5个重复。取样间隔50 m。土壤样品带回实验室后摊开阴干,将阴干样品摊于PVC板上,剪去表层土壤样品上的绿色植物部分。用橡胶辊进行土壤粗碾,剔除弃去大的石块、杂物,全部过2 mm筛,弃去上层根系。将样品混匀,用四分法,取出一半样品盛于塑料袋中。将剩余土壤继续碾碎,全部过1 mm筛,弃去上层根系,混匀,用多点取样法,取出约三分之一样品。将取出的三分之一样品,全部碾碎过0.25 mm筛,盛入塑料自封袋中。土壤速效钾的测定采用乙酸铵浸提-火焰光度法,土壤全钾的测定采用火焰光度法,土壤速效磷的测定采用钼锑抗比色法,土壤全磷的测定采用硫酸-高氯酸消煮法,土壤速效氮的测定采用康维皿法,土壤全氮的测定采用半微量开氏法,土壤有机质的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法,土壤容重采用环刀法,土壤pH值的测定采用氧化还原电位法<sup>[21]</sup>。

### 1.3 数据分析

运用软件Excel和SPSS16.0进行数据和图形处理、相关分析和显著性检验。

表1 样地基本状况  
Table 1 The basic situation of plots

地点 Plot	地理位置 Site	草地类型 Grassland type	草地状况 Grassland situation
对照样地 CK	N37°17.420, E100°15.144, 3287 m	退化草地 Degraded grassland	位于封育围栏外的放牧通道上, 为天然草地, 自由放牧. 狼毒 ( <i>Stellera chamaejasme</i> ) 占样地盖度的30%, 其它植物有密花柴胡 ( <i>Bupleurum densiflorum</i> )、甘肃棘豆 ( <i>Oxytropis kansuensis</i> )、紫花针茅 ( <i>Stipa purpurea</i> )、异叶青兰 ( <i>Dracocephalum heterophyllum</i> ) 等 The plot was natural grassland freely of grazing, located in the grazing channel outside the fence. The main plant was <i>Stellera chamaejasme</i> (about 30%), and the other plants included <i>Bupleurum densiflorum</i> , <i>Oxytropis kansuensis</i> , <i>Stipa purpurea</i> and <i>Dracocephalum heterophyllum</i> , et al.
6 a封育 Fenced for 6 years	N37°17.552, E100°15.144, 3287 m	紫花针茅草原 <i>Stipa purpurea</i> steppe	主要植物有紫花针茅、三辐柴胡 ( <i>Bupleurum triradiatum</i> )、沙蒿 ( <i>Artemisia desertorum</i> )、蜆果芥 ( <i>Neotorularia humilis</i> )、伏毛山莓草 ( <i>Sibbaldia adpressa</i> )、狼毒、早熟禾 ( <i>Poa tibetica</i> )、青海薹草 ( <i>Carex qinghaiensis</i> )、二裂委陵菜 ( <i>Potentilla bifurca</i> )、异叶青兰、甘肃马先蒿 ( <i>Pedicularis kansuensis</i> ) 等, 样地总盖度40%左右, 禾本科植物株高23 cm左右, 未见鼠类活动 The main plants of the plot included <i>Stipa purpurea</i> , <i>Bupleurum triradiatum</i> , <i>Artemisia desertorum</i> , <i>Neotorularia humilis</i> , <i>Sibbaldia adpressa</i> , <i>Stellera chamaejasme</i> , <i>Poa tibetica</i> , <i>Carex qinghaiensis</i> , <i>Potentilla bifurca</i> , <i>Dracocephalum heterophyllum</i> , <i>Pedicularis kansuensis</i> , et al. The total coverage of the plot was about 40%, and the plant height of Gramineae was about 23cm. No rodent was found
30 a封育 Fenced for 30 years	N37°14.889, E100°16.264, 3216 m	芨芨草草原 <i>Achnatherum splendens</i> steppe	多年封育后发展成芨芨草 ( <i>Achnatherum splendens</i> ) 草原, 芨芨草盖度50%, 上层为芨芨草, 高1.3 m, 下层以冷地早熟禾 ( <i>Poa crymophila</i> Keng) 为主, 盖度20%, 杂类草有细叶亚菊 ( <i>Ajania tenuifolia</i> )、二裂委陵菜、海乳草 ( <i>Glaux maritima</i> )、车前 ( <i>Plantago asiatica</i> )、灰条 ( <i>Chenopodium album</i> ) 等 The plot converted into <i>Achnatherum splendens</i> steppe after many years of fencing. The upper layer was <i>Achnatherum splendens</i> , with about 50% coverage and about 1.3 m height. The main plant at lower layer was <i>Poa crymophila</i> Keng with about 20% coverage, and the forb included <i>Ajania tenuifolia</i> , <i>Potentilla bifurca</i> , <i>Glaux maritime</i> , <i>Plantago asiatica</i> , <i>Chenopodium album</i> , et al.

## 2 结果与分析

### 2.1 封育对土壤速效钾及全钾含量的影响

速效钾是植被生长所需的重要营养物质. 对照和封育样地间土壤速效钾含量如图1-A所示, 同一样地不同土层间含量变化都表现出了相同的规律性, 表层土壤速效钾含量最高, 随着土层加深含量显著降低; 对照样地表层含量 ( $366.3 \times 10^3$ ) 显著高于第II层含量 ( $194.6 \times 10^3$ ), 而第II层和第V层之间含量没有显著差异; 封育6 a样地速效钾含量除第III层和第IV层含量相近差异不显著外, 其他各层都表现为上层含量显著高于下层含量 ( $P < 0.05$ ); 封育30 a样地土壤速效钾含量表现出了与对照样地相同的规律性. 同一土层不同样地间相比, 封育30 a样地表层土壤速效钾含量最高 ( $412.42 \times 10^3$ ), 比退化样地高出12.6%, 封育6 a含量稍低; 其他各层土壤间没有表现出显著差异 ( $P > 0.05$ ). 长期封育使表层土壤速效钾含量提高, 对下层土壤速效钾含量影响不大.

青藏高原土壤中钾的含量一般较高, 并且在土壤中的含量相对稳定. 青海湖区对照样地和封育样地土壤全钾含量表现出了不同的规律性, 对照样地不同土层之间全钾含量差异不明显 ( $P > 0.05$ ) (图1-B); 6 a封育样地土壤表层全钾含量显著高于下层, 而下面4层之间全钾含量相近, 差异不显著; 30 a封育样地第II层土壤全钾含量最高, 显著高于其他土层, 其他土层之间相差不明显. 不同样地之间相比较, 除了6 a封育样地土壤表层全钾的含量相对高, 其他样地和土层全钾

的含量相近. 全钾在土壤中的分布相对均匀, 封育时间长短对土壤全钾的含量影响不大. 同时高寒草原土壤速效钾含量与全钾含量之间相关性不显著 ( $P > 0.05$ ).

### 2.2 封育对土壤速效磷和全磷含量的影响

不同样地土壤速效磷的含量都表现出相同的规律性 (图1-C), 上层土壤速效磷含量高于下层, 随着土层降低, 第IV层和第V层含量相近. 同一样地不同土层相比较, 对照样地表层土壤速效磷含量高于下层, 下面3层含量相近, 没有出现显著差异; 6 a封育样地和30 a封育样地速效磷含量规律与6 a封育样地相同; 不同样地同一土层之间相比较, 6 a封育和30 a封育样地土壤速效磷含量多显著高于对照样地, 第V层之间相差并不显著, 封育措施提高了土壤速效磷含量, 但是各层土壤基本都表现出封育6 a的样地速效磷含量高.

从不同样地土壤全磷的含量看, 其表现相对稳定 (图1-D), 不论是对照样地还是多年封育样地, 同一土层之间相比较, 土壤全磷含量差异不显著; 同一样地不同土层间土壤全磷含量随土层加深降低幅度不明显 (含量从0.044%~0.068%), 最后一层土壤含量略低. 说明全磷含量在不同土层和不同样地之间含量稳定, 这主要是由于土壤磷含量受母质本身的影响, 变化不大<sup>[22]</sup>. 速效磷和全磷之间的相关分析表明二者之间显著相关 ( $P < 0.05$ ).

### 2.3 封育对土壤速效氮和全氮含量的影响

速效氮是植物生长所需的重要营养物质, 其含量的多少

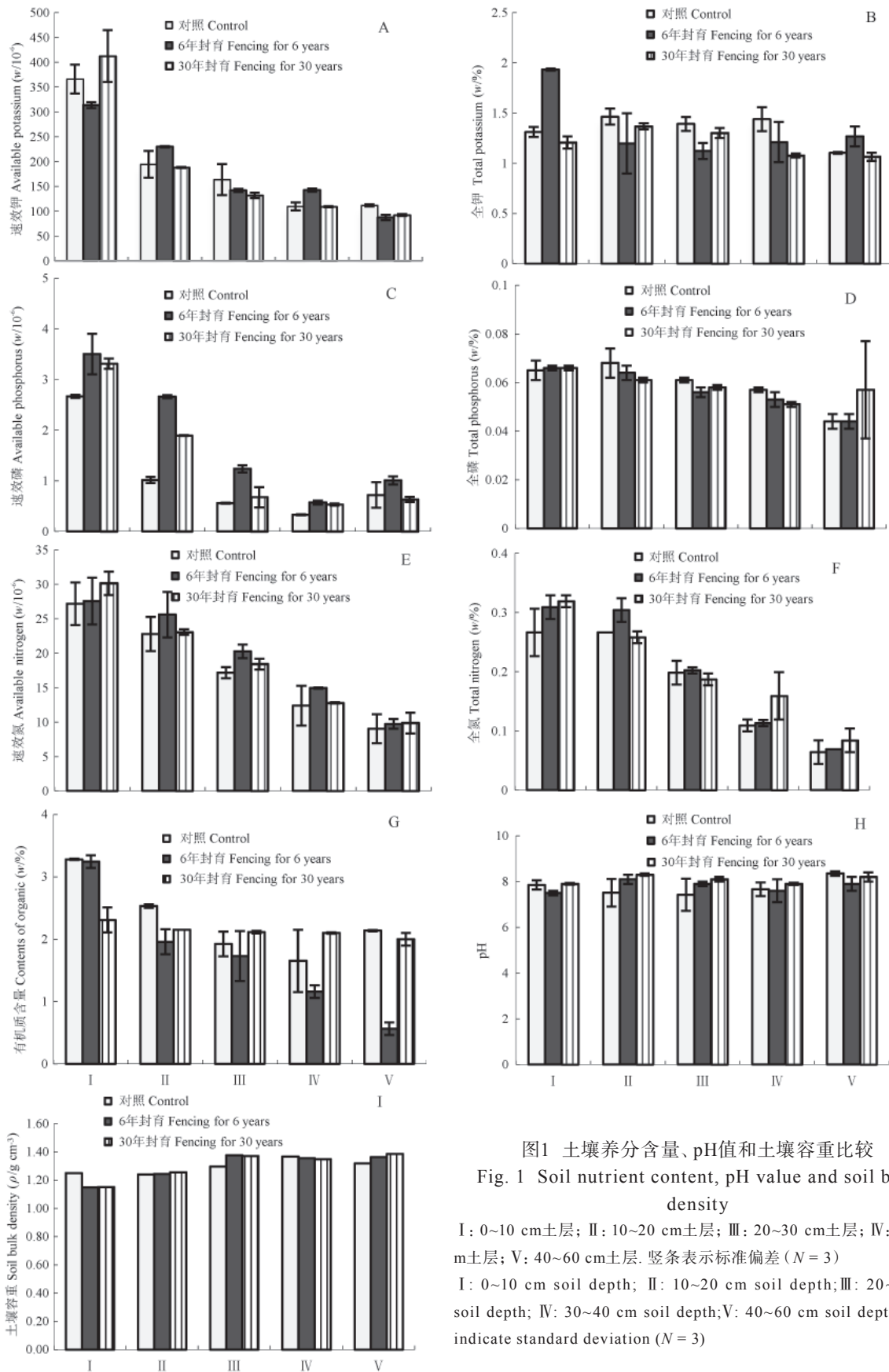


图1 土壤养分含量、pH值和土壤容重比较

Fig. 1 Soil nutrient content, pH value and soil bulk density

I: 0~10 cm土层; II: 10~20 cm土层; III: 20~30 cm土层; IV: 30~40 cm土层; V: 40~60 cm土层. 竖条表示标准偏差 ( $N = 3$ )

I: 0~10 cm soil depth; II: 10~20 cm soil depth; III: 20~30 cm soil depth; IV: 30~40 cm soil depth; V: 40~60 cm soil depth. Bars indicate standard deviation ( $N = 3$ )

直接影响到植物生长。3个样地土壤速效氮含量随着土层加深都呈现直线降低的趋势(图1-E)。同一样地不同土层之间相比较,上层土壤速效氮含量多显著高于下层,表层土壤速效氮含量约为第V层的3倍左右;不同样地同一土层间相比较,封育样地速效氮含量在5个土层间都稍微高于对照样地含量,但都没有出现显著差异。韩文武对青藏高原高寒草甸植物群落退化过程和恢复机理的研究发现,土壤速效氮的含量并不随施肥梯度而发生显著变化,认为高寒草甸生态系统土壤资源可能受氮元素的限制,速效氮被植被利用的较多,含量差异小<sup>[23]</sup>。

土壤全氮含量和速效氮含量表现出了相同的规律性,都是随土层加深含量显著下降(图1-F)。在土壤表层,随封育时间延长全氮的含量升高,封育30 a样地表层土壤全氮含量比对照高出20%。下层土壤不同样地间同一土层没有表现出太大的差异,但总体上比对照含量稍高。同一样地不同土层间相比较,对照样地含量低(0.266%),前3层土壤含量没有出现显著差异,都显著高于下面2层土壤的全氮含量;6 a封育样地的第I层和第II层全氮含量相近,没有出现显著差异,但是都极显著高于下面土壤的全氮含量;30 a封育样地与6 a封育样地规律一样,上面2层土壤全氮含量没有显著差异,都显著高于下面土层含量,第V层全氮含量最低。不同样地同一土层间相比较,除封育样地表层全氮含量明显高于对照外(分别高出16%和20%),其他土层之间对照和封育样地相差不大,没有出现显著差异。封育促进了土壤表层全氮含量的提高,这可能与草原植被的根系主要分布在表层有关。而相关分析表明,速效氮含量和全氮含量之间高度相关( $P<0.01$ )。表层全氮含量的提高对植被生长具有重要意义,可以提供植被生长所需要的大量速效氮。

## 2.4 封育对土壤有机质含量的影响

有机质是组成土壤的重要组成部分,退化和封育样地土壤有机质含量见图1-G。同一样地不同土层之间相比较,对照样地和6 a封育样地土壤有机质含量随着土层加深逐渐降低,而30 a封育样地各层土壤有机质含量相近,差别不明显;不同样地同一土层之间相比,第I、II层对照样地有机质含量高于封育样地,III、IV层含量相近没有出现显著变化,第V层封育6 a样地显著低于其他2个样地。总体上表现为短期封育有机质含量降低,长期封育(30 a)主要提高了下层土壤的有机质含量,导致土壤有机质含量增加。有利于土壤碳的积累。加重放牧通常会造草地植被根系向土壤上层集中,浅层化现象出现,这可能是导致退化样地表层土壤有机质含量比封育样地表层土壤有机质含量高的原因。同时退化样地植被盖度低、土壤水分含量少,微生物活动较封育样地微弱,物质分解速度慢,有机质逐渐积累,也是导致退化样地表层土壤有机质含量高的一个方面。

通过对土壤有机质含量与全量养分之间的相关性分析

表明,有机质含量和全氮含量之间极显著相关( $P<0.01$ );有机质和全磷含量、有机质和全钾含量之间相关性不显著( $P>0.05$ )。

## 2.5 封育对土壤pH值及容重的影响

土壤酸碱度同特定的母质、地形、生物气候条件和成土过程长短密切相关。对照样地和封育6 a样地的土壤不同土层之间数值接近,没有出现显著差异(图1-H);封育30 a样地第II层土壤pH值最高,其他几层土壤pH值相近,没有出现显著差异。不同样地同一土层间相比较,数值接近,没有表现出显著差异。

土壤容重与土壤质地相关,3个样地土壤容重变化见图1-I图,封育样地表层土壤容重相近,比退化样地降低约8%,其他土层之间相比相差不大;同一样地不同土层之间相比较,大致表现为表层土壤的土壤容重最低,随着土层加深,土壤容重升高。封育使表层土壤容重降低,可能与封育后植被的生长恢复有关,土壤中特别是表层土壤根系增加,促使土壤容重降低。

## 3 讨论

草地的退化通常会造土壤碳、氮含量降低<sup>[24]</sup>。草地退化的核心问题是土壤退化<sup>[25]</sup>,草地退化会导致土壤贫瘠化<sup>[26]</sup>,土壤的贫瘠化更加速生态系统植被的退化。土地退化或退化土地恢复重建都会使原来的生态系统发生剧烈改变<sup>[27]</sup>。封育后植被的恢复更快<sup>[8]</sup>,植被的恢复会进一步促进土壤恢复,土壤养分特别是速效养分的增加,则促使生态系统向着正态方向发展,有利于土壤和地表植被的恢复。土壤养分的恢复也是评价生态系统恢复有效性的一个重要方面<sup>[28]</sup>。

研究结果表明,减牧封育措施促进了养分的恢复。以往的研究表明,限制高寒草甸植物生长的主要元素为氮<sup>[2,29]</sup>,本实验也发现,全磷和全钾含量在退化样地和恢复样地之间差别不大,并且同一样地不同土层之间也差别不大,在青藏高原高寒草原全磷和全钾的含量不是限定植物生长的因素;而不同土层之间全氮含量相差显著,封育措施使土壤表层全氮含量升高,对下层土壤全氮含量影响不大,表明高寒草原全氮养分的增加有赖于地表植被对土壤养分的回馈。土壤表层是生-地养分、水分、热量等交换最频繁的地方,土壤微生物的活跃生长对养分的良性循环也起着十分重要的作用。最上层土壤有效资源最高,下层差别不大,说明有效资源还没有大量进入到土壤下层。封育导致青海湖区草原的恢复和进展演替,群落类型发生变化<sup>[17]</sup>,而逐渐恢复的植被也通过凋落物、根系、微生物等生态组分之间的相互作用促进了养分的恢复。蔡晓布等对藏北高原研究结果表明,不同土壤生物学因子间的相互作用机制共同影响并决定着土壤有机物质的转化过程、转化效率和土壤肥力的演化方向<sup>[25]</sup>。王长庭等

对三江源区不同建植年代人工群落的研究表明,土壤的含水量、容重、有机质、氮素和磷素在演替过程中逐渐降低,到一定时期又逐步增加<sup>[30]</sup>。许中旗等对典型草原生态系统土壤养分状况受到人工干扰下的研究发现,开垦和放牧会导致土壤,主要是表层土壤养分含量的下降,禁牧会提高土壤各种养分的含量,土壤养分含量有逐渐增加的趋势<sup>[31]</sup>,与本研究结果基本一致。植被恢复过程中养分的恢复是非常缓慢的,可能也受到放牧强度、生态因子等多种因素的综合作用的结果,并且恢复到一定程度后就达到一个平衡。需要我们在下一步的工作中研究影响高寒草原土壤恢复的主要影响因素、最终恢复程度和恢复时限,这样才能在恢复工作中更有针对性。

减牧封育措施有利于土壤结构和土壤环境的改善。植被恢复是改善土壤环境的主要措施<sup>[32]</sup>,土壤容重是土壤的基本物理性质之一,表层土壤容重的降低与采取减牧封育措施后土壤有机质含量的增加有关, Richard T. Conant等通过综合研究很多研究恢复措施的文章指出,几乎所有的植被恢复措施都能够促进土壤中碳含量的增加,随着改善措施的实施草地能够成为一个有效的碳库<sup>[33]</sup>。下层土壤土壤容重变化较小与草原植被多为草本植物,根系分布较浅,主要分布在土壤表层有关。

高寒草甸生态系统具有较高的系统稳定性和自我调控能力,但当生态系统遭到破坏后,其恢复能力极差<sup>[34]</sup>。青藏高原上高寒草原也具有破坏后恢复能力差的特点,其恢复缓慢。高寒草原的土壤水分含量低,系统抗干扰能力更差,需要在畜牧业生产中注意放牧的时间和强度,一旦破坏,恢复过程漫长。我们的研究表明,通过封育减牧措施能够促进青海湖区草原土壤质量的逐步改善,是一个有效的恢复措施。

## References

- Hu ZZ (胡自治). Ecosystem services of rangeland/grassland: Key factors reducing function and thematic meanings for caring rangeland/grassland. *Grassl & Turf*(草原与草坪), 2005, **3**: 3~8
- Li B (李博). The rangeland degradation in north China and its preventive strategy. *Chin Agri Sci* (中国农业科学), 1997, **30** (6): 1~9
- Wei XH (魏兴琥), Yang P (杨萍), Li S (李森), Chen HS (陈怀顺). Effects of over grazing on vegetation degradation of the Kobresia pygmaea meadow and determination of degenerative index in the Naqu Prefecture of Tibet. *Acta Pratacult Sin* (草业学报), 2005, **14** (3): 41~49
- Yang HX (杨红善), Chang GZ (常根柱), Zhou XH (周学辉), Lu Y (路远), Na BTE (那巴特尔). Study on contents of soil nutrients in different grazing intensities on Subei Alpine Steppes. *Soils*, 2011, **43** (2): 174~178
- Pressey RL, Cabeza M, Watts ME, Cowling RM, Wilson KA. Conservation planning in a changing world. *Trends Ecol & Evol*, 2007, **22** (11): 583~592
- Dubeux JCB, Sollenberger JLE, Mathews BW, Scholberg JM, Santos HQ. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Sci*, **47** (3): 915~928
- Evans RD, Belnap J. Long-term consequences of disturbance on nitrogen dynamics in an arid ecosystem. *Ecosystem*, 1999, **80** (1): 150~160
- Zhou ZY, Li FR, Chen SK, Zhang HR, Li GD. Dynamics of vegetation and soil carbon and nitrogen accumulation over 26 years under controlled grazing in a desert shrubland. *Plant & Soil*, 2011, **341** (1~2): 257~268
- Derner JD, Schuman GE. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. *J Soil & Water Conserv*, 2007, **62** (2): 77~85
- Gibson R, Hewitt A, Sparling G. Vegetation change and soil quality in central Otago tussock grasslands. *New Zealand Ranglang J*, 2000, **22** (2): 190~204
- Wu GL, Li W, Zhao LP. Artificial management improves soil moisture, C, N and P in an alpine sandy meadow of western China. *Pedosphere*, 2011, **21** (3): 407~412
- Fu Y (伏洋), Zhang GS (张国胜), Li FX (李凤霞), Yang Q (杨琼), Yan LD (颜亮东), Liu BK (刘宝康). Management approaches of ecological and environmental restoration in the regions around Qinghai Lake. *Pratacult Sci* (草业科学), 2008, **25** (7): 4~10
- Li FX (李凤霞), Fu Y (伏洋), Yang Q (杨琼), Yan LD (颜亮东), Xiao JS (肖建设). Climate change and its environmental effects in the surrounding area of Qinghai Lake. *Resour Sci* (资源科学), 2008, **30** (3): 348~353
- Wang WY (王维岳). Problems of ecologic environment and its protection in the Qinghai Lake Watershed. *Bull Soil & Water Conserv* (水土保持通报), 1996, **16** (6): 59~64
- Sun J (孙菁), Peng M (彭敏), Chen GC (陈桂琛), Li W (李伟), Wang SZ (王顺忠), Zhou GY (周国英). Dynamic changes of the biomass of *Stipa* steppe around Qinghai Lake. *Pratacult Sci* (草业科学), 2004, **21** (7): 1~5
- Zhou GY (周国英), Chen GC (陈桂琛), Zhao YL (赵以莲), Wang SZ (王顺忠), Sun J (孙菁). Comparative studies on the influence of chemical fertilizer application and enclosure on alpine steppes in Qinghai Lake area. *Pratacult Sci* (草业科学), 2005, **22** (1): 59~63
- Zhou GY (周国英), Chen GC (陈桂琛), Han YJ (韩友吉), Li JP (李锦萍), Song WZ (宋文珠). Influences of enclosure on *Achnatherum splendens* steppes community characteristics in the Qinghai Lake Area. *Chin J Grassl* (中国草地学报), 2007, **29** (1): 19~23
- Chen GC (陈桂琛), Chen XQ (陈孝全), Gou XJ (苟新京) ed in chief. 青海湖流域生态环境保护与修复. Xining, China: Qinghai People Press (西宁: 青海人民出版社), 2008. 1~2

- 19 Zhou GY (周国英), Chen GC (陈桂琛), Zhao YL (赵以莲), Wang SZ (王顺忠), Li W (李伟), Peng M (彭敏). Comparative research on the influence of chemical fertilizer application and enclosure on alpine steppes in the Qinghai Lake area I Structure and species diversity of the plant community. *Acta Pratacult Sin* (草业学报), 2004, **13** (1): 26~31
- 20 Chen GC (陈桂琛), Peng M (彭敏), Zhou LH (周立华), Zhao J (赵京). Relationship between ecological environmental change and human activity in Qinghai Lake Region: A preliminary study. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 1994, **13** (2): 44~49
- 21 Sun B (孙波), Shi JP (施建平), Yang LZ (杨林章) ed in chief. 陆地生态系统土壤观测规范. Beijing, China: China Environmental Science Press (北京: 中国环境科学出版社), 2007
- 22 Cheng JZ (程建中), Li XQ (李心清), Liu ZL (刘钟龄), Hu L (胡璐), Huang DK (黄代宽). Spatial variation of C and N contents of plant communities in the steppe of north China: Implication for the abnormal C/N ratio in the surface soil. *Geochimica* (地球化学), 2008, **37** (3): 265~274
- 23 Han WW (韩文武). Study on degradation progress and restoration mechanism of plant community: [Master Degree Dissertation]. Lanzhou, China: Lanzhou University (兰州: 兰州大学), 2006
- 24 Wu L, He N, Wang Y. Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil after grazing exclusion in *Leymus chinensis* grasslands of northern China. *J Environ Qual*, 2008, **37** (2): 663~668
- 25 Cai XB (蔡晓布), Qian C (钱成), Zhang YQ (张永清). Characterization of soil biological properties on degraded alpine grasslands. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2007, **18** (8): 1733~1738
- 26 Wang YB (王一博), Wang GX (王根绪), Shen YP (沈永平), Wang YL (王彦莉). Degradation of the eco-environmental system in alpine meadow on the Tibetan Plateau. *J Glaciol & Geocryol* (冰川冻土), 2005, **27** (5): 633~640
- 27 Wang WY (王文颖), Wang QJ (王启基), Wang G (王刚). Effects of land degradation and rehabilitation on soil carbon and nitrogen content on alpine *Kobresia* meadow. *Ecol & Environ* (生态环境), 2006, **15** (2): 362~366
- 28 Ruiz-Jaen MC, Aide TM. Restoration success: How is it being measured? *Restoration Ecol*, 2005, **13** (3): 569~577
- 29 Cao GM (曹广民), Wu Q (吴琴), Li D (李东), Hu QW (胡启武), Li YM (李月梅), Wang X (王溪). Effects of nitrogen supply and demand status of soil and herbage system on vegetation succession and grassland degradation in alpine meadow. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2004, **23** (6): 25~28
- 30 Wang CT (王长庭), Long RJ (龙瑞军), Wang QL (王启兰), Liu W (刘伟), Jing ZC (景增春), Zhang L (张莉). Community succession of differently aged artificial grasslands and their soil nutrient changes in Three Rivers Source Regions in Qinghai, China. *Chin J Appl & Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2009, **15** (6): 737~744
- 31 Xu ZQ (许中旗), Min QW (闵庆文), Wang YS (王英舜), Li WH (李文华), Xu Q (许晴). Impact of human disturbance on soil nutrient contents of typical grasslands. *J Soil & Water Conserv* (水土保持学报), 2006, **20** (5): 38~42
- 32 Su J (苏静), Zhao SW (赵世伟). Influence of vegetation restoration on distribution of aggregate and organic carbon and nitrogen in Loess Plateau. *Res Soil & Water Conserv* (水土保持研究), 2005, **12** (3): 44~46
- 33 Conant RT, Paustian K, Elliott ET. Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecol Appl*, 2001, **11** (2): 343~355
- 34 Zhou HK (周华坤), Zhou L (周立), Zhao XQ (赵新全). Research on the ecosystem stability of alpine meadow in Tibetan Plateau. *Chin Sci Bull* (科学通报), 2006, **51** (1): 63~69