

# 开垦对海北高寒草甸土壤有机碳的影响\*

李月梅<sup>1,3</sup> 曹广民<sup>1\*\*</sup> 王跃思<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; <sup>2</sup> 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;

<sup>3</sup> 青海省农林科学院土壤肥料研究所, 西宁 810016)

**摘要** 在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区,选择高寒草甸开垦后形成的农田(种植春油菜)作为研究对象,开垦年限分别为0、10、20和30年,利用土壤有机碳密度分组法,对0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm土层土壤有机碳(SOC)及不同组分(轻组有机碳LFOC,重组有机碳HFOC)含量及随开垦年限变化关系进行了研究。结果表明,高寒草甸开垦后土壤有机碳及其组分的变化主要发生在0~10 cm土层,LFOC下降最快,其次为HFOC和SOC,至30年时分别下降了48.63%、43.97%、37.64%。而0~40 cm土体内,SOC、LFOC和HFOC亦呈下降趋势,开垦30年,它们的下降速率分别为785.77、16.79和460.29 kg C hm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>。开垦将大大降低高寒草甸作为碳汇的功能,土壤碳库的总贮量由143 516.94 kg C hm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>下降至114 298.34 kg C hm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>,使其逆转为碳源。

**关键词** 开垦,高寒草甸,农田,土壤有机碳,轻组有机碳

**中图分类号** S812.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2006)08-0911-05

**Effects of reclamation on soil organic carbon in Haibei alpine meadow.** LI Yuemei<sup>1,3</sup>, CAO Guangming<sup>1</sup>, WANG Yuesi<sup>2</sup> (<sup>1</sup> Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; <sup>2</sup> Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; <sup>3</sup> Soil and Fertilizer Institute, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Science, Xining 810016, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 911 ~ 915.

With rapeseed fields having been reclaimed from alpine meadow for 0, 10, 20 and 30 years at the Haibei Research Station, Chinese Academy of Sciences as test objects, this paper studied the changes of soil organic carbon (SOC) and its fractions including light fraction organic carbon (LFOC) and heavy fraction organic carbon (HFOC) in 0~10, 10~20, 20~30 and 30~40 cm soil layers with reclamation duration. The results showed that after the alpine meadow reclaimed, the changes of SOC and its fractions mainly occurred in 0~10 cm soil layer, with LFOC decreased most rapidly and followed by HFOC and SOC. After the conversion from alpine meadow to cropland for 30 years, the SOC, LFOC and HFOC in 0~10 soil layer decreased by 37.64%, 48.63% and 43.97%, and their decrement in 0~40 cm soil layer was 785.77, 16.79 and 460.29 kg C hm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>, respectively. The storage of soil carbon pool was decreased from 143 516.94 to 114 298.34 kg C hm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>. Reclamation made alpine meadow as a carbon sink turn into a carbon source.

**Key words** reclamation, alpine meadow, cropland, soil organic carbon, light fraction.

## 1 引言

陆地土壤是地球表面最大的碳库,其有机碳贮量约1 400~1 500 Pg<sup>[10,14,15]</sup>,其贮量约为大气碳库的2倍,因此土壤碳库较小幅度的变化都会影响大气中二氧化碳浓度的变化。不合理的土地利用使土壤中更多的碳素排放到大气中,进一步加剧了全球变暖趋势<sup>[13]</sup>。草原生态系统是陆地生态系统的主体类型,其碳素总贮量为308 Pg,其中约92%贮存在土壤中<sup>[11]</sup>。由于人口增加及其对粮食需求的增大,草原被大量开垦为农田。土地利用变化对草原生态系统碳循环的影响主要在于对土壤碳贮量的影响。天然草地开垦通常会导致土壤中有有机碳的大量

释放,有研究表明,草地开垦为农田可导致1 m深度土层内的土壤碳损失20%~30%<sup>[19]</sup>。

青藏高原是地球陆地生态系统的重要组成部分,是世界上低纬度冻土集中分布区,对全球气候变化十分敏感<sup>[5]</sup>。广泛分布于此的高寒草甸、高寒草原以及高寒湿地占据青藏高原的绝大部分,长期以来,随着人类生活的需求的增加,天然草地被逐渐开垦为人工草地、农田,原生植被景观破碎化,人工草地、农田镶嵌分布于其中。研究开垦作用对高寒草

\*国家自然科学基金项目(40471133)、中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01)和中国科学院资源环境领域野外台站研究基金资助项目。

\*\*通讯作者

收稿日期:2005-11-10 接受日期:2006-03-17

甸生态系统土壤碳库的组成与变化对于准确评价青藏高原生物地球化学循环对全球变化响应和反馈作用具有重要的科学意义。本研究通过研究高寒草甸土地利用变化后不同年限土壤中有机碳及其组分的变化趋势,探讨高寒矮嵩草草甸开垦为农田后土壤碳库的变化规律,为其源汇效应的准确评价提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 自然概况

试验样地设置在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)地区,地处青藏高原东北隅,祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河河谷,37°29′~37°45′N,101°12′~101°23′E,海拔3280 m。属典型的高原大陆性气候,年平均气温-1.7℃,最暖的7月平均气温9.8℃,最冷的1月平均气温-14.8℃,年平均降水量618 mm,降水主要集中于暖季的5~9月,占年降水量的80%,植物生长季雨热同季。

### 2.2 试验样地

试验样地原生植被为寒冷中生、湿中生和旱中生多年生密丛短根茎地下芽嵩草属植物为建群种的植被类型。植被分布均匀,植株低矮、密集、覆盖度大,初级生产力低。土壤为草毡寒冻锥形土,洪积冲积物(滩地)、坡积-残积(坡地)及古冰水沉积土壤母质,土层浅薄,有机质含量丰富。以大片分布于试验区平坦山地开垦年限为10、20和30年的农田为研究对象,农田主要种植春油菜,以样点附近未开垦的高寒草甸为对照。

### 2.3 采样方法

在2004年9月,在不同开垦年限的地块中采用S形布点法,各样地布设5个取样点,采样深度为40 cm,每10 cm 1层,同时用100 cm<sup>3</sup>环刀测定各土层土壤容重。土样风干,过2 mm筛备用。

### 2.4 分析方法

土壤总有机碳(SOC)。称取0.01~0.02 g过0.25 mm筛的土样,直接上机测定。

轻组有机碳(LFOC)。称取过2 mm筛的土样25 g于100 ml离心管中,加入比重为1.7 g·ml<sup>-1</sup>的NaI溶液,于200 r·min<sup>-1</sup>条件下振荡1 h,然后在1000 ×g下离心15 min,将浮在液面的轻组移至装有0.45 μm尼龙滤纸的漏斗中抽气过滤,用50 ml 0.005 mol·L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>洗涤,再用蒸馏水洗后移到烧杯中,重复以上步骤提取两次后将所提轻组混合,在

60℃下烘干72 h,称重。计算烘干样品质量占总土壤样品的比例。研细后过60目筛。

重组有机碳(HFOC)。轻组提取后,离心管中的剩余物加蒸馏水重复洗涤数次,将离心管中土样移到提前称重的烧杯中,60℃下烘干72 h,称重。研细过60目筛。

土壤碳素用日本岛津公司生产的TOC-5000A有机碳分析仪进行测定,有机碳通过测定总碳(TC)减去无机碳(IC)而获得,TC、IC燃烧温度分别为900℃、250℃。轻组中没有无机碳(IC),轻组有机碳则由TC直接得出。

利用SOC、LFOC、HFOC的测定结果,结合土壤容重和采样深度,计算单位面积的土壤总有机碳、轻组有机碳、重组有机碳含量。

### 2.5 统计分析

试验数据均用SPSS 11.5软件进行数据处理和分析,文中数据均为平均值。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤总有机碳

天然高寒草甸开垦为农田(种植春油菜)后,经过30年的种植,0~40 cm土体中,土壤总有机碳(SOC)含量下降,由开垦前的 $1.3747 \times 10^5$  kg C·hm<sup>-2</sup>减少至 $1.1389 \times 10^5$  kg C·hm<sup>-2</sup>(图1),各土层(每层10 cm)SOC占整个40 cm土体SOC的比例分别为28.39%、28.23%、23.12%和20.25%。天然高寒草甸中,随着土层深度的增加,SOC含量呈逐渐下降趋势,即表现为0~10 cm > 10~20 cm > 20~30 cm > 30~40 cm;开垦为农田后20年内,

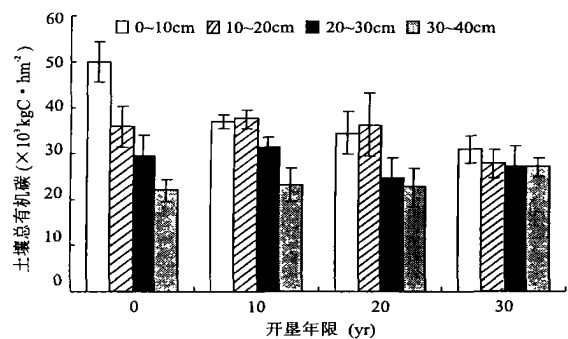


图1 不同开垦年限农田中土壤总有机碳含量  
Fig. 1 Contents of soil organic carbon in rapeseed field different reclamation years

SOC 含量剖面分布改变为 10 ~ 20 cm > 0 ~ 10 cm > 20 ~ 30 cm > 30 ~ 40 cm。这与陈伏生等<sup>[3]</sup>对科尔沁沙地草甸土开垦后的研究结果相同,这主要是由于农田耕翻措施将表层植物残体翻入亚表层,增加了地上生物量中碳素向土壤的输入所致。之后随着开垦年限的增加 SOC 各土层间的差异逐渐减小。

高寒草甸开垦为农田后土壤表层(0 ~ 10 cm) SOC 下降较为迅速,在 30 年内下降了 37.63%,随着开垦年限的增加,下降趋势一直延续,只是下降速率有所减缓,10、20 和 30 年内其下降速率依次为 1 282.94、763.82 和 625.82 kg C · hm<sup>-2</sup> · yr<sup>-1</sup>(图 2)。表层有机碳下降可能是由于以下原因:当地较为强烈的风蚀作用;耕作措施增加了土壤透气性和持水性,加剧了表层 SOC 的氧化分解。

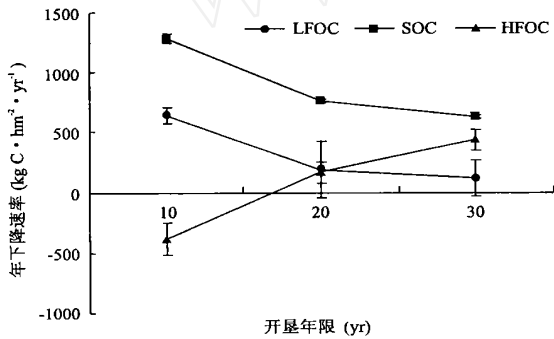


图 2 0 ~ 10 cm 土层不同开垦年限农田中土壤有机碳年下降速率  
Fig. 2 Soil organic carbon decrease rate (0 ~ 10 cm) in rapeseed field of different reclamation years

在 0 ~ 40 cm 土层, SOC 呈下降趋势,开垦 30 年内下降了 17.15%。随着开垦年限的增加,下降趋势持续,开垦 10 ~ 30 年内,下降速率在 785.77 ~ 933.13 kg C · hm<sup>-2</sup> · yr<sup>-1</sup> 范围变化,下降速率基本保持稳定。由此可得出,高寒草甸开垦为农田使 0 ~ 40 cm 土体内的 SOC 含量下降(图 3)。

### 3.2 土壤轻组有机碳

天然高寒草甸开垦为农田后,经过 30 年的种植,0 ~ 40 cm 土体中,LFOC 含量由未开垦前的 10 046.16 kg C · hm<sup>-2</sup> 下降至 9 542.33 kg C · hm<sup>-2</sup> (图 4),各土层(每层 10 cm)LFOC 占整个 40 cm 土体 LFOC 的比例分别为 45.07%、29.59%、16.06% 和 9.21%。高寒草甸和人工草地中均表现为随着土层深度的增加,LFOC 含量呈逐渐下降趋势。魏朝富等<sup>[6]</sup>对紫色土的剖面进行了研究,结果显示绝

大部分土壤剖面中轻组有机质的含量都为耕作层 > 犁底层 > 淀积层,呈从上到下逐渐递减趋势。Janzen<sup>[12]</sup>对 3 个不同地区土壤剖面中轻组有机质分布的研究表明,Indian Head、Melfort 和 Scott 地区表土中轻组有机质含量分别为亚表土的 3.4、2.1 和 2.2 倍。本实验结果与此结论相一致。

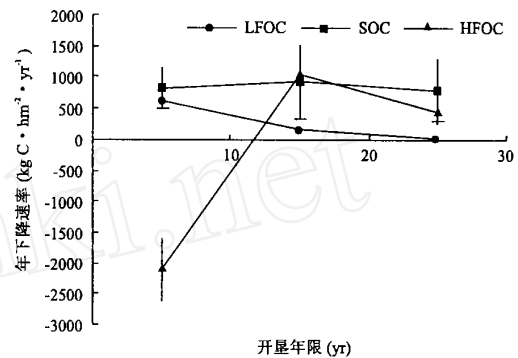


图 3 0 ~ 40 cm 土层不同开垦年限农田中土壤有机碳年下降速率  
Fig. 3 Soil organic carbon decrease rate (0 ~ 40 cm) in rapeseed field of different reclamation years

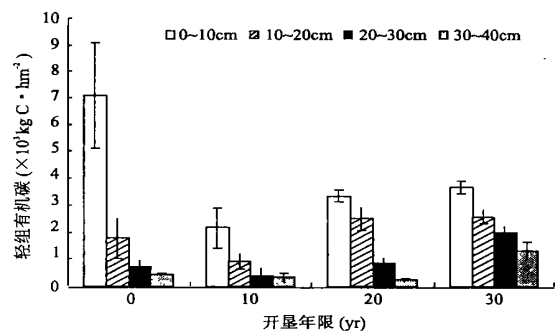


图 4 不同开垦年限农田中轻组有机碳含量  
Fig. 4 Contents of light fraction organic carbon in rapeseed field of different reclamation years

高寒草甸在开垦后种植 1 年生作物(春油菜)的情况下,随着种植年限的增加,表层(0 ~ 10 cm)土壤中 LFOC 下降速率逐渐降低,10、20 和 30 年内分别为 644.90、187.62 和 115.19 kg C · hm<sup>-2</sup> · yr<sup>-1</sup>(图 2)。从 0 ~ 40 cm 土体看,土壤中 LFOC 呈下降趋势,开垦 10、20 和 30 年内下降速率依次为 627.60、153.08 和 16.79 kg C · hm<sup>-2</sup> · yr<sup>-1</sup>(图 3)。

Schlesinger<sup>[16]</sup>的研究表明,草地开垦为农田后会造土壤碳素的损失,大量的碳损失发生在开垦后的最初几年,20年后趋于稳定;Stenvensen<sup>[17]</sup>的研究也表明了相同观点。本研究中的SOC含量在开垦30年后的下降速率与开垦初期相差不大,但LFOC的变化规律则与以上两者的研究结果较为接近。

### 3.3 土壤重组有机碳

高寒草甸被开垦后在长期种植油菜的情况下重组有机碳(HFOC)含量呈下降趋势。经过30年的种植作用,其含量由未开垦前的 $100\ 131.68\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}$ 减小至 $62\ 755.72\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}$ (图5),各土层(每层10 cm)HFOC占整个40 cm土体HFOC的比例分别为28.27%、28.37%、23.33%、20.03%。天然高寒草甸中,随着土层深度的增加,HFOC含量呈逐渐下降趋势;开垦为农田后,HFOC含量剖面分布无明显规律。

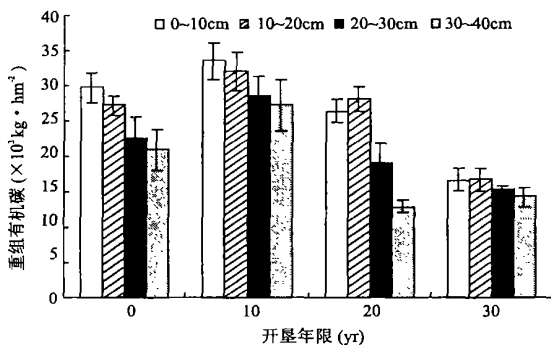


图5 不同开垦年限农田中重组有机碳含量

Fig. 5 Contents of heavy fraction organic carbon in rapeseed field of different reclamation years

武天云等<sup>[4]</sup>对开垦为农田的黄绵土和灰褐土和北美大草原进行了研究,结果表明HFOC随土壤开垦年代的增加而逐渐减少,其损失规模和程度与总有机碳相似。本研究中表层(0~10 cm)土壤中HFOC在开垦10年内有一增加过程,增加速率为 $380.93\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ ,具体机理不明,尚需进一步研究;其后随着开垦年限的增加呈下降趋势,开垦20年和30年时下降速率分别为 $163.19$ 和 $434.20\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ (图2),分别下降了11.04%、43.98%。而在整个0~40 cm土体,变化趋势与表层较为相似,开垦10年内HFOC以 $2\ 104.82\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ 速率增加,其后则呈下降趋势,20、30年

时下降速率分别为 $1\ 052.41$ 和 $460.29\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ (图3),分别下降了13.79%、37.32%。

## 4 讨论

众多研究表明,开垦会导致自然植被土壤有机碳含量迅速下降<sup>[7,9,18]</sup>,大量碳损失发生在开垦后的最初几年,20年后趋于稳定<sup>[16]</sup>。而引起土壤碳库的最初变化的主要是易分解、矿化的活性部分(活性碳)<sup>[8]</sup>。因此,针对土壤有机碳的不同物理组分进行研究,才能准确评价土地利用变化对土壤有机碳的影响。

高寒草甸开垦为农田30年后,其土壤有机碳的变化主要发生在表层(0~10 cm),有机碳及其组分含量均呈现明显的下降趋势,尤其LFOC下降最快,损失48.63%,其次为HFOC和SOC,这主要是由于天然草地开垦为农田后,耕作的同时增加了土壤透气性和持水性,为好气性微生物的活动创造了有益条件,加快了土壤中植物残体的分解;机械耕作破碎了原来的草毡表层,土壤结构被破坏,从而降低了土壤的物理保护性<sup>[2]</sup>;另外,随着土地利用方式的改变,减少了土壤中有有机物质的补给量,天然高寒草甸地下根系的年生产力为 $6\ 050.07\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ ,开垦后种植油菜,其根系的年生产力仅为 $404.56\ \text{kg C}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ ;土壤风蚀也是造成土壤碳素含量下降的一个主要原因,据气象资料,海北地区年平均大风日数47 d,沙尘暴日数达14 d,且多发于冬春季节。严平等<sup>[1]</sup>应用<sup>137</sup>Cs法对青藏高原土壤风蚀情况进行了测定,结果表明草地和旱作农田均表现为单一的风蚀过程,青藏高原风蚀区土壤风蚀速度平均为 $47\ 590\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。而10~40 cm土层,LFOC均呈缓慢增加趋势,HFOC则呈下降趋势,主要由于高寒草甸属粗骨土,发育差,土壤渗透能力较强,上层土壤LFOC在降水淋溶作用下向土壤下层迁移,并发生沉积,在研究区低洼地带水坑中水色呈黄褐色。

高寒草甸土地利用方式发生改变后,经过30年的耕作,虽然0~40 cm不同土层中土壤有机碳及其组分呈不同变化趋势,但土壤总有机碳(SOC)是下降的,开垦为农田使天然高寒草甸土壤作为碳汇的巨大功能被大大降低,并最终逆转成为碳源。

## 参考文献

- [1] 严平,董光荣,张信宝,等. 2000. <sup>137</sup>Cs法测定青藏高原土壤

- 风蚀的初步结果[J]. 科学通报, 45(2):199~204.
- [2] 张金波,宋长春. 2003. 土地利用方式对土壤碳库影响的敏感性评价指标[J]. 生态环境, 12(4):500~504.
- [3] 陈伏生,曾德慧,陈广生,等. 2004. 开垦对草甸土有机碳的影响[J]. 土壤通报, 35(4):413~419.
- [4] 武天云, Schoenau JJ, 李凤民,等. 2003. 耕作对黄土高原和北美大草原三种典型农业土壤有机碳的影响[J]. 应用生态学报, 14(12):2213~2218.
- [5] 程国栋,李培基,张祥松,等. 1997. 气候变化对中国积雪、冰川和冻土的影响评价[M]. 兰州:甘肃文化出版社, 22~56.
- [6] 魏朝富,谢德体,陈世正. 1996. 紫色水稻土有机无机复合与土粒团聚的关系[J]. 土壤学报, 33(1):70~77.
- [7] Aguilar R, Kelly EF, Heil RD. 1988. Effects of cultivation on soils in northern Great Plains rangeland [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1081~1085.
- [8] Blair G, Lefroy RDB. 1995. Soil C fractions based on their degree of oxidation and the development of a C management index for agricultural systems [J]. *Aust. J. Agri. Res.*, 46: 1459~1466.
- [9] Davidson EA, Ackerman IL. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously un-tilled soils [J]. *Biogeochemistry*, 20: 161~193.
- [10] Eswaran H, Van den Berg E, Reich P. 1993. Organic carbon in soils of the world [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:192~194.
- [11] Houghton RA. 1995. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850[A]. *Soils and Global Change*[C]. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc. 45~65.
- [12] Janzen HH. 1987. Soil organic matter characteristics after long term cropping to various spring wheat rotations [J]. *Can. J. Soil Sci.*, 67: 845~856.
- [13] Jendinson DS, Adamas DE, Wild A. 1991. Model estimated of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming [J]. *Nature*, 351:304~306.
- [14] Post WM, Emanuel WR, Zinke PJ, et al. 1982. Soil carbon and world life zones [J]. *Nature*, 298:156~159.
- [15] Schlesinger WH. 1977. Carbon balance in terrestrial detritus [J]. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 8:51~81.
- [16] Schlesinger WH. 1995. An overview of global carbon cycle[A]. In: Lai R, eds. *Soils and Global Change* [C]. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc. 9~25.
- [17] Stenvensen FJ. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction* [M]. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1~24.
- [18] Tiessen HJ, Steward WB, Bettany JR. 1982. Cultivation effects on the amount and concentration of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soil [J]. *Agron. J.*, 74:831.
- [19] WBGU Special Report. 1998. The accounting of biological sinks and sources under the Kyoto Protocol [R]. WBGU, Bremerhaven.

作者简介 李月梅,女,1974年生,硕士,助理研究员,主要从事土壤生态方面的研究。E-mail: yuemeili2002@hotmail.com

责任编辑 李凤芹