

# 不同封育年限草地土壤有机质组分 及其碳库管理指数

邱莉萍<sup>1,2</sup>, 张兴昌<sup>1,2</sup>, 程积民<sup>1,2</sup>

(1 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 2 中国科学院水利部水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 土壤有机质对草地封育的生态效应具有重要指示作用, 本文结合野外调查和室内分析, 研究了半干旱区不同封育年限草地土壤有机质组分及其碳库管理指数变化, 以分析土壤有机质对草地封育的响应特征, 从而为该区土壤质量的改善和植被建设的生态效应评价提供依据。研究表明, 土壤有机质及不同活性有机质含量均随土层加深而降低, 且在各土层基本表现出封育 18 年、封育 23 年 > 封育 13 年 > 未封育 > 封育 3 年的趋势。除封育 3 年土壤的 3 种活性有机质碳库管理指数在 0—90 cm 土壤剖面均低于 100 外, 封育 13 年草地 0—60 cm 土层、封育 18 和 23 年草地 0—90 cm 土层的 3 种活性有机质碳库管理指数均高于 100, 表明随年限的延长, 封育对土壤有机质的改善深度也在加深。土壤 3 种活性有机质与有机质及多数土壤性质呈极显著正相关, 能更为灵敏和直观地表征土壤管理的长期效应和土壤质量变化。

**关键词:** 有机质; 活性有机质; 碳库管理指数; 草地封育; 不同年限

中图分类号: X144; S153.6<sup>+</sup>2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)05-1166-06

## Soil organic matter fractions and soil carbon management index in grasslands with different fencing ages

QIU Li-ping<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Xing-chang<sup>1,2</sup>, CHENG Ji-min<sup>1,2</sup>

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau/Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Soil organic matter is an important index to indicate ecological effects of grassland fencing. In this paper, soil organic matter fractions and carbon management index were studied by applying field investigation and laboratory analysis in semi-arid grasslands receiving different years of fencing. The response of soil organic matter to grassland fencing, which is essential for the improvement of soil quality and ecosystem rehabilitation, was analyzed. The results showed that the contents of soil organic matter and labile organic matter were decreased with soil depth, and were in order of 18 and 23 years fencing > 13 years fencing > unfencing treatment > 3 years fencing. The carbon management index (CMI) of the soils received 3 years fencing was less than 100 in 0–90 cm soil profile, while the carbon management indices in 0–60 cm soils of 13 years fencing treatment, 0–90 cm soils of 18 and 23 years fencing were larger than 100, which indicated that the improvement of soil organic matter by fencing are more deeper in soil profiles with the increase of fencing age. The three labile organic matters were significantly related with soil organic matter and most soil properties, suggesting that labile soil organic matters could sensitively and directly indicate long term effects and soil quality changes with land/soil management.

**Key words:** organic matter; labile organic matter; carbon management index; grassland fencing; fencing age

收稿日期: 2011-03-02 接受日期: 2011-06-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901145); 国家重点基础研究发展规划(2007CB106803); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX-YW-441)资助。

作者简介: 邱莉萍(1979—), 女, 江西赣州人, 助理研究员, 博士, 主要从事土壤物质循环方面的研究。E-mail: qiulp79@tom.com.

土壤有机质是土壤肥力的重要物质基础,在维持土壤结构、保持土壤水分和供应养分等方面具有重要作用,同时也与全球气候变化密切相关<sup>[1]</sup>。土壤活性有机质不但能有效反映土壤质量在较大时空尺度上的变化,而且能敏感指示土壤性质的微小变化<sup>[2]</sup>。因此,研究土壤活性有机质对于建立土地/土壤管理与土壤质量变化及其与生态效应之间的关系具有重要意义<sup>[3-4]</sup>。根据测定方法的不同,活性有机质可用不同的指标描述,如建立在微生物学方法测定基础上的微生物量有机质<sup>[5-6]</sup>,通过物理方法获得的轻组有机质<sup>[7-8]</sup>,利用化学测定得到的易氧化有机质<sup>[9-11]</sup>等。通过不同浓度  $\text{KMnO}_4$  氧化土壤有机质获得的不同活性组分的土壤活性有机质,可以较为明确地表征不同活性有机质对土地管理措施变化的响应,并且可以描述土壤有机质转化特征,因此在目前研究中应用较为广泛<sup>[9,12]</sup>。在表征土壤碳库变化方面,常用土壤碳库管理指数(CMI)作为指标,指示土地/土壤管理措施变化引起的土壤有机碳的变化<sup>[12-13]</sup>。CMI是指土壤有机质与对照土壤有机质的比值乘以土壤有机质的活度指数,可以反映不同利用措施对土壤质量特别是对土壤碳库影响的程度<sup>[12-13]</sup>。

尽管目前不同土地管理措施下土壤活性有机质和土壤碳库管理指数变化方面的研究开展得比较多<sup>[3,12-15]</sup>,但对于半干旱地区草地封育条件下土壤不同活性有机质及与之有关的CMI响应特征尚未见报道。开展这方面的研究对于半干旱草地有效管理、持续利用及生态系统碳库变化和相应的生态环境效应评价具有重要的理论意义和实践价值。固原云雾山草原自然保护区从1982年开始封育,生态系统已经恢复了良性循环,草地平均植被覆盖度达95%以上,产草量不断增加,植物种类增加,在半干旱草地生态系统研究方面具有独特优势<sup>[16-17]</sup>。本文以云雾山草原自然保护区内不同封育年限草地为对象,分析了0—90 cm 土层土壤有机质、活性有机质组分及其碳库管理指数变化特征,旨在揭示半干旱草地土壤有机质对封育的响应特征,并为该区土壤质量改善和退化生态系统恢复提供相关的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

云雾山草原自然保护区(宁夏固原)位于黄土高原中部的黄土丘陵干旱区(106°24'E ~ 106°28'E, 36°13'N ~ 36°19'N),海拔1800 ~ 2148 m,面积4000

km<sup>2</sup>。该区年均气温4℃~6℃,≥0℃的积温2370℃~2880℃,月均温以7月最高,为24℃,年均降水量400~450 mm,蒸发量1500~1700 mm,无霜期112~137 d。地带性土壤为山地灰褐土和淡黑垆土,主要草地类型有长芒草/百里香+星毛委陵菜型和长芒草+铁杆蒿/冷蒿+星毛委陵菜型<sup>[16-17]</sup>。

### 1.2 土壤样品采集与分析

云雾山自然保护区分别于1982、1987、1992、2002年对未封育草地进行封育,形成了封育年限梯度,各样地封育前均为植被组成相似草地。于2005年4月在固原云雾山自然保护区选取不同封育年限草坡(封育3年,坡度19°;封育13年,坡度20°;封育18年,坡度18.5°;封育23年,坡度21°)和未封育荒坡(对照,坡度18.5°)作为研究样地,为了减小地形差异,采样地块尽量选在同一海拔高度,且几个样地相邻。各采样点覆盖植被均以长芒草为主,采样坡位均在坡中,且均为阴坡。未封育草坡、封育3、13、18和23年草坡地上部生物量分别为1.91、1.97、3.66、3.25和3.29 Mg/hm<sup>2</sup>。本研究选取的不同封育年限样地土壤类型一致,成土条件相同,地形条件及地表生态过程相似,所选样地封育前土壤侵蚀状况基本一致,因此不同封育年限草地土壤有机质的差异主要由封育引起的植物生长条件差异及与之有关的土壤生态过程差异造成。

在每个样地设置3个采样小区,每个小区选取3个剖面采集土样,采样深度为90 cm,每隔15 cm取样,采后分层混合土样,用四分法取足样品。土壤中的植物根系、可见植物残体和石块去除后,混匀风干研磨过筛以供测定。土壤有机质用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 氧化法测定。不同组分活性有机质用 $\text{KMnO}_4$ 氧化法测定<sup>[9,12]</sup>,其操作步骤为:称取2.500 g土壤样品于100 mL离心管中,加入25 mL不同浓度的高锰酸钾溶液振荡1 h,然后离心5 min,将上清液稀释后在565 nm下测定吸光度,通过其与不加土壤的空白吸光度之差,计算出氧化的有机质即活性有机质。试验中选择的 $\text{KMnO}_4$ 浓度为333、167和33 mmol/L,由此测定的有机碳分别为活性、中活性和高活性有机质。

### 1.3 数据计算与分析

以未封育草地为对照土壤,计算不同封育年限基于不同组分活性有机质的土壤碳库管理指数(CMI)<sup>[9]</sup>:

$$L = \text{LOM}/\text{NLOM} \quad (1)$$

$$\text{LI} = L/L_0 \quad (2)$$

$$\text{CPI} = \text{TOM}/\text{TOM}_0 \quad (3)$$

$$\text{CMI} = \text{CPI} \times \text{LI} \times 100 \quad (4)$$

式(1)~(4)中: TOM 为样本总有机质含量(g/kg); LOM 为样本各组分活性有机质(g/kg); L 为样本的碳库活度; NLOM 为样本非活性有机质(g/kg); LI 为活度指数;  $L_0$  为对照的碳库活度;  $\text{TOM}_0$  为对照总有机质含量(g/kg); CPI 为碳库指数。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机质及活性有机质的变化

本研究中土壤有机质含量均随土层深度的加深而降低;而对于同一土层土壤来说,封育3年草地土壤有机质和3种活性有机质含量均低于未封育草地,其有机质、低活性有机质、中活性有机质和高活性有机质在0—90 cm 土层范围内的平均值分别比未封育草地低 8.32、1.09、1.03 和 0.66 g/kg,说明半干旱区草地封育初期土壤有机质状况有所下降。这可能是在封育初期,随着外界因子对草地生态系统扰动的消失,草地植被生长迅速,加速了对草地原有资源的利用,使原有有机质含量有所降低。而此时植被地下部和地上部有机物质处于积累阶段,对土壤有机质的补充作用尚未体现出来,从而表现出封育初期土壤有机质和不同组分活性有机质含量下

降的趋势。另一方面,与封育初期(3年)相比,未封育草地放牧导致了低的产草量,但植物有较大的根冠比率,因而增加了干物质向地下的分配<sup>[18]</sup>,而未封育草地动物的践踏使凋落物破碎并与土壤充分接触,放牧使凋落物积累量减少,有助于凋落物的分解<sup>[19]</sup>,这些都有助于土壤有机质的积累,其含量因此高于封育初期草地。

之后随着封育年限的延长,土壤有机质得到地上部和地下部植物残体分解输入的补充,含量有所回升并显著高于未封育草地。如封育13年、18年和23年草地0—90 cm 土层土壤有机质平均含量分别是未封育草地的 1.43、2.04 和 1.95 倍,低活性、中活性和高活性有机质分别是未封育草地土壤的 1.52、2.56 和 2.51 倍, 1.32、2.08 和 2.04 倍和 1.09、1.87 和 1.86 倍。此外,随封育年限的延长,封育对土壤有机质和活性有机质的影响深度逐渐加深。如封育13年草地土壤有机质和低活性有机质含量在0—75 cm 土层显著增加,中活性和高活性有机质分别在0—60 cm 和0—45 cm 土层土壤显著提高;而封育18年以上草地(封育18年和23年)土壤有机质和3种活性有机质含量在0—90 cm 土层均显著高于未封育草地(图1)。

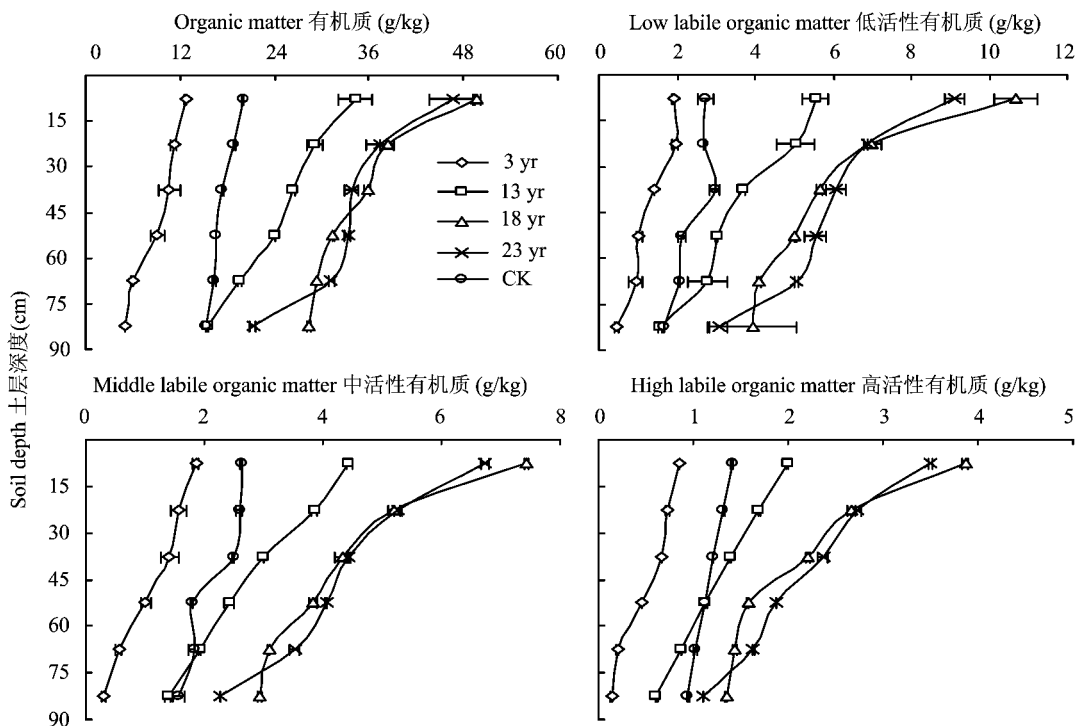


图1 不同封育年限下土壤有机质和不同活性有机质剖面分布特征

Fig. 1 Distributions of soil organic matter and labile organic matters in soil profiles

[注(Note): 3yr—封育3年 3 years' fencing; 13 yr—封育13年 13 years' fencing; 18 yr—封育18年 18 years' fencing; 23 yr—封育23年 23 years' fencing; CK—对照 control. 不同年限的有机质和3种活性有机质在每一土层的差异均达到  $P < 0.01$  水平 The organic matter and three labile organic matters at each soil depth among different fencing ages are significant at  $P < 0.01$ . ]

本研究中草地土壤有机质和活性有机质在封育 23 年时和封育 18 年时很接近(图 1),表明封育超过 18 年时土壤有机质累积速率逐渐变小,此时封育的效果不再显著。这是因为当封育年限过长时,地上部植物和立枯物丰富,阻挡了阳光的穿透和到达土壤表面,而在干旱半干旱地区,植物残体的分解主要是光解<sup>[20]</sup>,这便使得地表枯落物和植物残体的分解减慢,对土壤有机质的补偿也受到影响,此时土壤有机质和活性有机质随封育年限延长的增加变缓,因此结合草地封育年限、改良利用和土壤性质改善,半干旱区草地封育 18 年后即可达较佳效果。

## 2.2 土壤活性有机质 CMI

基于不同组分活性有机质的碳库管理指数(CMI)能有效地反映土壤质量和土壤肥力状况<sup>[12]</sup>,

常被用来指示不同土地管理措施对土壤质量,特别是对土壤碳库的影响程度<sup>[21]</sup>。本研究以未封育草地为对照,计算了不同封育年限草地土壤 3 种活性有机质的 CMI(图 2),结果表明,随封育年限的延长,各组分活性有机质 CMI 均逐渐增长,封育对 CMI 的影响深度也逐渐加深。如封育 3 年草地土壤 3 种活性有机质 CMI 在整个剖面均低于 100,而封育 13 年的草地土壤在 0—60 cm 土层、封育 18 和 23 年的草地土壤在 0—90 cm 土层 3 种活性有机质 CMI 均高于 100。不同封育年限草地土壤活性有机质 CMI 的变化与封育后土壤总有机质和活性有机质变化趋势一致,表明半干旱区草地长期封育显著改善了土壤有机质状况和土壤碳库质量,增强了土壤碳汇功能。

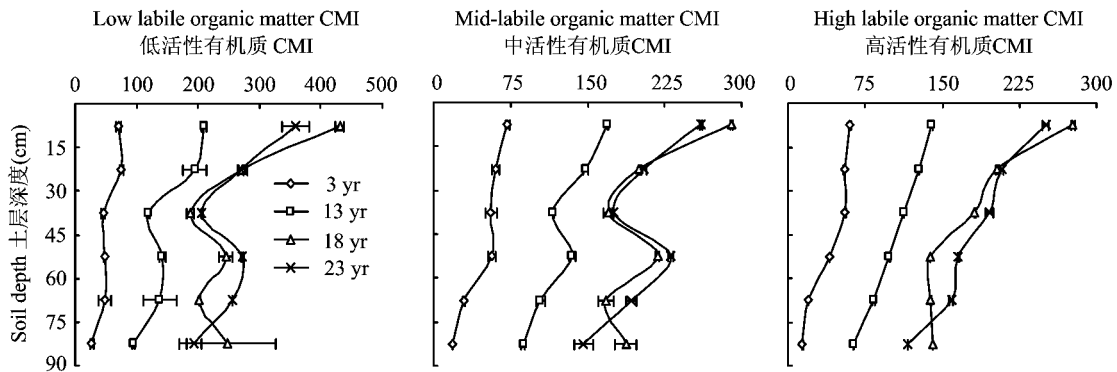


图 2 不同封育年限下基于不同活性组分有机质的土壤碳库管理指数剖面分布特征

Fig. 2 Profile distributions of organic carbon management index based on different labile organic matters

[注(Notes): 3yr—封育 3 年 3 years' fencing; 13 yr—封育 13 年 13 years' fencing; 18 yr—封育 18 年 18 years' fencing; 23 yr—封育 23 年 23 years' fencing. 不同年限的 3 种活性有机质碳库管理指数在每一土层的差异均达到  $P < 0.01$  水平 The CMI based on the three labile organic matter at each soil depth among different fencing ages are significant at  $P < 0.01$ . ]

通过分析土壤有机质变化与各组分活性有机质 CMI 之间的关系发现,各组分有机碳 CMI 与封育后土壤有机质含量变化极显著正相关(图 3),进一步证明了基于不同活性组分的碳库管理指数可以敏感指示土壤有机质对草地封育的响应特征。在 3 种活性有机质的 CMI 中,中活性有机质 CMI 与土壤有机质变化之间的相关系数最大,表明其对土壤有机碳的指示效果优于其他两种活性有机质 CMI。

## 2.3 活性有机质对其他土壤性质的指示作用

为了进一步分析土壤活性有机质变化对土壤质量变化的指示作用,我们分析了不同组分活性有机质与主要土壤性质之间的关系(表 1)。不同年限土壤总有机质与土壤全量养分如全氮和全磷的相关性要比活性有机质与它们的相关性高,而总有机质与速效养分如硝态氮、速效磷及速效钾的相关性则比

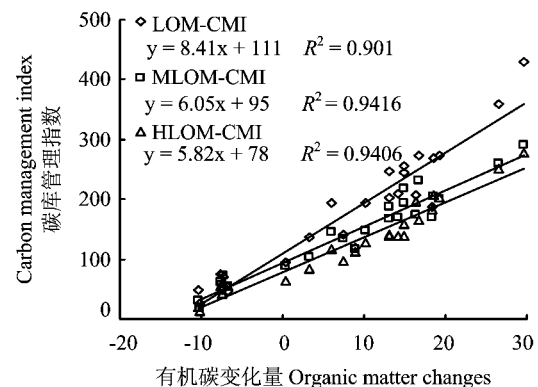


图 3 封育后土壤有机碳变化量与碳库管理指数的关系  
Fig. 3 Relationships between carbon management index and organic matters changes

[注(Notes): LOM-CMI—活性有机质碳库管理指数 Labile organic matter based CMI; MLOM-CMI—中活性有机质碳库管理指数 Middle labile organic matter based CMI; HLOM-CMI—高活性有机质碳库管理指数 High labile organic matter based CMI. ]

表 1 活性有机质与土壤性质的相关性  
Table 1 Relationship between labile organic matter and soil properties

项目 Item	OM	pH	CEC	TN	TP	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Avail. P	Avail. K
OM		-0.758**	0.826**	0.985**	0.632**	0.454**	0.009	0.545**	0.687**
LOM	0.972**	-0.761**	0.753**	0.957**	0.547**	0.438**	-0.002	0.587**	0.671**
MLOM	0.977**	-0.737**	0.724**	0.954**	0.584**	0.506**	0.059	0.646**	0.711**
HLOM	0.956**	-0.682**	0.672**	0.933**	0.600**	0.534**	0.133	0.670**	0.727**

注(Note): OM—有机质 Organic matter; LOM 活性有机质—Labile organic matter; MLOM—中活性有机质 Middle labile organic matter; HLOM 高活性有机质—High organic matter; CEC 阳离子交换量—Cation exchange capacity; TN 全氮—Total nitrogen; TP—全磷 Total phosphorus; \*—0.05 水平显著相关 Significantly correlate at  $P < 0.05$ ; \*\*—0.01 水平显著相关 Significantly correlate at  $P < 0.01$ .

活性有机质与它们的相关性低,说明与有机质相比,活性有机质在表征土壤管理的长期效应和土壤速效养分的变化上更为灵敏和直观。各组分活性有机质与土壤 pH 极显著负相关,与除过铵态氮外的其他土壤性质极显著正相关,表明 3 种组分的活性有机质可以表征主要土壤性质对半干旱区草地封育的响应特征,能够作为相似条件下土壤质量变化研究的简化指标。

结合不同组分活性有机质 CMI 与土壤有机质变化的关系(图 3)可以发现,中活性有机质 CMI 与土壤有机质变化相关性最好,而中活性有机质与多数土壤性质的相关性也优于低活性和高活性有机质,表明中活性有机质对研究区土壤质量变化的指示效果最佳。

### 3 结论

半干旱区草地土壤有机质及不同活性有机质含量均随土层的加深而降低,且在各土层基本表现为封育 18 年、封育 23 年 > 封育 13 年 > 未封育 > 封育 3 年的趋势;除封育 3 年土壤 3 种活性有机质碳库管理指数在整个剖面均低于 100 外,封育 13 年草地 0—60 cm 土层、封育 18 和 23 年在 0—90 cm 土层 3 种活性有机质碳库管理指数均高于 100,表明随年限的延长,封育对土壤有机质的改善深度也在加深;土壤 3 种活性有机质与有机质及多数土壤性质极显著的正相关,可以更为灵敏和直观地表征土壤管理的长期效应和土壤质量变。

#### 参考文献:

[1] 肖胜生,董云社,齐玉春,等. 草地生态系统土壤有机碳库对人为干扰和全球变化的响应研究进展[J]. 地球科学进展, 2009,24(10): 1138-1148.  
Xiao S S, Dong Y S, Qi Y C *et al.* Advance in responses of soil

organic carbon pool of grassland ecosystem to human effects and global changes [J]. *Adv. Earth Sci.*, 2009, 24(10): 1138-1148.

- [2] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库研究[J]. 林业科学, 2005,41(1): 10-13.  
Jiang P K. Soil active carbon pool under different types of vegetation [J]. *Sci. Silv. Sin.*, 2005, 41(1): 10-13.
- [3] 薛莲,刘国彬,潘彦平,等. 黄土丘陵区人工刺槐林土壤活性有机碳与碳库管理指数演变[J]. 中国农业科学,2009,42(4): 1458-1464.  
Xue S, Liu G B, Pan Y P *et al.* Evolution of soil labile organic matter and carbon management index in the artificial Robinia of Loess Hilly Area [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2009, 42(4): 1458-1464.
- [4] Martin H, Markus R. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks [J]. *Nature*, 2008, 451: 289-292.
- [5] 王小利,苏以荣,黄道友,等. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(4): 750-757.  
Wang X L, Su Y R, Huang D Y *et al.* Effects of land use on soil organic C and microbial biomass C in Hilly Red Soil region in subtropical China [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2006, 39(4): 750-757.
- [6] 李新爱,肖和艾,吴金水,等. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(10): 1827-1831.  
Li X A, Xiao H A, Wu J S *et al.* Effects of land use type on soil organic carbon, total nitrogen, and microbial biomass carbon and nitrogen contents in Karst region of South China [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(10): 1827-1831.
- [7] 王文颖,王启基,鲁子豫. 高寒草甸土壤组分碳氮含量及草甸退化对组分碳氮的影响[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学,2009, 39(5): 647-654.  
Wang W Y, Wang Q J, Lu Z Y. Soil organic carbon and nitrogen content of density fractions and effect of meadow degradation to soil carbon and nitrogen of fractions in alpine Kobresia meadow. [J]. *Sci. China (Series D: Earth Sci.)*, 2009, 39(5): 647-654.
- [8] 谢锦升,杨玉盛,杨智杰,等. 退化红壤植被恢复后土壤轻组有机质的季节动态[J]. 应用生态学报,2008,19(3): 557-563.  
Xie J S, Yang Y S, Yang Z J *et al.* Seasonal variation of light

- fraction organic matter in degraded red soil after vegetation restoration [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2008, 19(3): 557-563.
- [9] 魏孝荣,邵明安,高建伦. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳与环境因素的关系[J]. *环境科学*, 2008, 29(10): 2879-2884.
- Wei X R, Shao M A, Gao J L. Relationships between soil organic carbon and environmental factors in Gully Watershed of the Loess Plateau [J]. *Envir. Sci.*, 2008, 29(10): 2879-2884.
- [10] Logninow W, Wisniewski W, Strony W M *et al.* Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation [J]. *Polish J. Soil Sci.*, 1987, 20: 47-52.
- [11] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. *Australian J. Agric. Res.*, 1995, 46: 1459-1466.
- [12] 徐明岗,于荣,王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5): 723-729.
- Xu M G, Yu R, Wang B R. Labile organic matter and carbon management index in red soil under long-term fertilization [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2006, 43(5): 723-729.
- [13] 李琳,李素娟,张海林,等. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 106-109.
- Li L, Li S J, Zhang H L *et al.* Study on soil C pool management index of conservation tillage [J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2006, 20(3): 106-109.
- [14] 邱莉萍,张兴昌,程积民. 土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响[J]. *中国环境科学*, 2009, 29(1): 84-89.
- Qiu L P, Zhang X C, Cheng J M. Effects of land-use type on soil organic matter and carbon management index in Ziwuling area [J]. *China Environ. Sci.*, 2009, 29(1): 84-89.
- [15] 徐明岗,于荣,孙小凤,等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 459-465.
- Xu M G, Yu R, Sun X F *et al.* Effects of long-term fertilization on labile organic matter and carbon management index(CMI) of the typical soils of China [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2006, 12(4): 459-465.
- [16] 邹厚远,关秀琦,张信,等. 云雾山草原自然保护区的管理途径探讨[J]. *草业科学*, 1997, 14(1): 3-4.
- Zou H Y, Guan X Q, Zhang X *et al.* Approach to management path way of Yunwushan mountain natural protecting area [J]. *Pratac. Sci.*, 1997, 14(1): 3-4.
- [17] 李鹏远,程积民,万惠娥,等. 云雾山自然保护区优势植物种群分布格局的分形特征[J]. *生态学报*, 2008, 28(10): 5161-5165.
- Li P Y, Cheng J M, Wan H E *et al.* Fractal properties of the distribution pattern of dominant species in Yunwushan mountain natural protecting area [J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2008, 28(10): 5161-5165.
- [18] Demer J D, Beriske D D, Boutton T W. Does grazing mediate soil carbon and nitrogen accumulation beneath C4, perennial grasses along an environmental gradient [J]. *Plant Soil*, 1997, 191: 147-156.
- [19] Naeth M A, Bailey A W, Pluth D J *et al.* Grazing impacts on litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta [J]. *J. Range Manag.*, 1991, 44: 7-12.
- [20] Austin A T, Vivanco L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation [J]. *Nature*, 2006, 442: 555-558.
- [21] Blair G J, Lefroy R D B, Singh B P *et al.* Development and use of a carbon management index to monitor changes in soil C pool size and turnover rate [A]. Cadisch G, Giller K E. *Drive by nature: plant litter quality and decomposition* [M]. Wallingford: CAB International, 1997. 273-281.