

人为干扰下子午岭次生林土壤生态因子动态变化^{*}

周正朝^{1,3} 上官周平^{1,2,*}

(¹ 中国科学院水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,杨凌 712100;

² 西北农林科技大学,杨凌 712100;³ 中国科学院研究生院,北京 100039)

【摘要】 对黄土高原陕西子午岭次生林区不同人为扰动条件下林地土壤容重、有机质、团聚体和微生物等进行了研究.结果表明,人为干扰(砍伐与开垦)对土壤生态因子影响较大,随干扰程度加剧,土壤理化性质变差,土壤有机质由2.2%下降到0.8%,土壤稳定性团聚体减少30%;微生物数量由 15×10^9 个 g^{-1} 干土下降到 8×10^7 个 g^{-1} 干土,土壤退化严重.在同一干扰类型的土壤剖面上,土壤有机质和土壤微生物随土层深度的增加分别减少了50%和90%,并且在不同干扰强度下变化幅度略有差异.土壤容重由表层的 $0.9 g cm^{-3}$ 增加到 $1.21 g cm^{-3}$,呈增大趋势.同一干扰类型土壤理化性质在沟缘线上下存在一定差别,沟缘线以下样地表现出较好的土壤理化性质和较高的微生物量.

关键词 人为干扰 土壤性质 土壤微生物 次生林地 黄土高原

文章编号 1001 - 9332(2005)09 - 1586 - 05 **中图分类号** S154.1 **文献标识码** A

Dynamic changes of soil ecological factors in Zi wuling secondary forest area under human disturbance. ZHOU Zhengchao^{1,3}, SHANG GUAN Zhouping^{1,2} (¹ State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China; ² Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China; ³ Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). - Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(9): 1586 ~ 1590.

As a widespread natural phenomenon, disturbance is considered as a discrete event occurred in natural ecosystems at various spatial and temporal scales. The occurrence of disturbance directly affects the structure, function and dynamics of ecosystems. Forest logging and forestland assart, the common human disturbances in forest area, have caused the dynamic changes of forest soil ecological factors in a relatively consistent environment. A study on the dynamics of soil bulk density, soil organic matter, soil microbes and other soil ecological factors under different human disturbance (logging and assart, logging but without assart, control) were conducted in the Zi wuling secondary forest area. The results indicated that human disturbance had a deep impact on the soil ecological factors, with soil physical and chemical properties become bad, soil organic matter decreased from 2.2% to 0.8%, and soil stable aggregates dropped more than 30%. The quantity of soil microbes decreased sharply with enhanced human disturbance. Soil organic matter and soil microbes decreased more than 50% and 90%, respectively, and soil bulk density increased from 0.9 to $1.21 g cm^{-3}$ with increasing soil depth. Ditch edge level also affected the dynamics of soil factors under the same disturbance, with a better soil ecological condition at low than at high ditch edge level.

Key words Human disturbance, Soil property, Soil microbe, Secondary forest area, Loess Plateau.

1 引言

干扰是存在于自然界中的一种普遍现象,直接影响着生态系统的各个组成要素和演变过程^[2,6,7,9,20].近年来,人为活动引起的干扰对森林生态系统结构与功能的影响已受到生态学家的广泛重视,并开展了一系列工作^[1,11,15,18,27].黄土高原是世界上水土流失最严重的区域之一,严重的水土流失与当地森林植被的破坏密不可分^[5,19].森林植被破坏不仅造成森林植物区系成分的退化,而且还会引起森林土壤质量的退化,从而制约该区经济发展和生态环境的改善.不少学者对森林植被破坏后植被恢复和植物群落组成及其结构变化特征的研究

做了较多工作^[10,12,13,17,23],而对与之密切相关的土壤生态因子动态研究相对较少.本文以黄土高原陕西子午岭次生林区为例,对不同人为干扰条件下森林植被土壤生态因子动态进行了分析,以期为该区的植被恢复和生态重建提供理论依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

本研究选择子午岭次生林区的陕西省富县任家台林场

*国家重点基础研究发展规划项目(2002CB111502)、国家自然科学基金项目(90102012)、教育部博士点专项科研基金(20030712001)和教育部新世纪人才工程计划资助项目(NCET-04-0955).

*通讯联系人. E-mail: shangguan @ms. iswc. ac. cn

2005 - 04 - 06 收稿, 2005 - 05 - 19 接受.

为试验场.该区地貌类型属梁状黄土丘陵沟壑区,海拔 920 ~ 1 683 m,年均气温 9 ,年均降雨量 576.7 mm. 试验区土壤类型属松栎林森林植被下发育的褐土. 由于本区已遭强烈侵蚀,故土壤剖面发育不深,部分林地土层上部约有 10 ~ 30 cm 厚的腐殖质层,以下为接近黄土母质的过渡层,无明显的淋溶层和淀积层^[4,26].

2.2 研究方法

以位于任家台林场的中国科学院水土保持研究所“子午岭土壤侵蚀与生态环境观测站”为基地,利用建于 1989 年的定位观测径流小区,在已有坡面径流小区中选择于 1989 年完全砍伐去除地表植被并开垦(砍伐开垦)和 1989 年完全砍伐但不开垦(砍伐未开垦)的小区为研究样地,以不砍伐(自然状态)的小区为对照,并以沟缘线上下的小区为对比,所用试验径流区的基本特征如表 1,用以研究人为扰动以及侵蚀引起上方来水来沙对土壤生态因子的影响^[25].

2004 年 4 月,在径流小区上、中、下 3 个位点(即重复 3 次)分 3 层(0 ~ 15 cm、16 ~ 30 cm 和 31 ~ 50 cm)采集土壤样品,共计 54 个土样(3 × 3 × 2 = 54),用以分析土壤生态因子.土壤容重与水稳性团聚体分别用环刀和铝饭盒采集 0 ~ 15 cm、16 ~ 30 cm 和 31 ~ 50 cm 的中点原状土样带回实验室,容重采用烘干法^[8]测定,土壤水稳性团聚体用沙维诺夫干湿筛法^[8]测定.土壤含水量、土壤有机质和土壤微生物则采集 0 ~ 15 cm、16 ~ 30 cm 和 31 ~ 50 cm 的全层混合土样带回实验室测定.土壤含水量用烘干法测定,土壤有机质用重铬酸钾外加热法^[8]测定,微生物用稀释平板记数法^[3]测定.

表 1 试验径流小区的基本特征

Table 1 Characters of sample land

采样小区 Sample		坡 度 Slope (°)	坡 向 Orientation	海 拔 Elevation (m)	植被类型 Vegetation
A	Up	30	NW 15 °	1230	-
	Below	25	NW 15 °	1195	-
B	Up	28	NW 15 °	1225	
	Below	25	NW 15 °	1200	
C	Up	30	NW 15 °	1225	
	Below	25	NW 15 °	1195	

A:砍伐并开垦 Logging and assart;B:砍伐不开垦 Logging but no assart;C:未砍伐 No logging; Up:沟缘线以上 Up the slope;Below:沟缘线以下 Below the slope. 下同 The same below. 辽东栎 *Quercus wutaishanica* + 白桦 *B. platyphylla* + 油松 *P. tabulaeformis*; 辽东栎 *Q. wutaishanica* + 白桦 *B. platyphylla*.

3 结果与讨论

3.1 人为干扰对土壤含水量的影响

由图 1 可见,干扰对土壤水分产生较大的影响,不论沟壑上或沟壑下,不同样地土壤水分动态差异较大,呈现未砍伐 > 砍伐不开垦 > 砍伐并开垦.对于未砍伐和砍伐不开垦样地,其土壤含水量随土层深度的增加没有明显变化,基本维持在一个恒定的水平,而砍伐并开垦样地的土壤含水量随土层深度的增加而增大,在土层深 40 cm 处基本与砍伐不开垦

样地含水量相当.未砍伐的林地由于枯落物分解增加了土壤有机质,以及植物根系的穿插形成良好的土壤结构,因此具有较高的持水性能,在同一气候和地理条件下表现出较高的土壤含水量.而砍伐未开垦和砍伐开垦样地由于土壤有机质含量相对较低,土壤持水性能也较弱,从而表现为较低的土壤含水量;尤其是砍伐并开垦样地,由于地表无任何植被覆盖,土壤表层蒸发强烈,导致表层含水量低于下层.

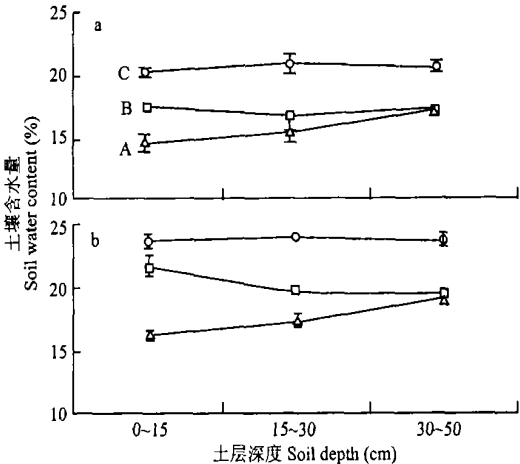


图 1 不同干扰下土壤含水量在土壤剖面上的变化
Fig.1 Dynamics of soil water content in soil profile under different disturbance.
A:砍伐并开垦 Logging and assart;B:砍伐不开垦 Logging but no assart;C:未砍伐 No logging;a) 沟缘线以上 Up the slope;b) 沟缘线以下 Below the slope. 下同 The same below.

同类型样地沟缘线上、下的土壤水分存在一定差别,3 种样地都表现出沟缘线以下土壤含水量大于沟缘线以上土壤(图 1).沟缘线以下太阳辐射相对沟缘线上少,沟缘线上土壤水分蒸发较为强烈,从而表现出土壤含水量差异.另外,由于水分的运动,特别是当降水发生时,更多的水分由沟缘上向沟缘线下富集,导致沟缘下土壤水分相对较高.

3.2 人为干扰对土壤容重的影响

土壤容重与土壤的空隙度和渗透率密切相关.其大小主要受土壤质地、土壤有机质和人为干扰的影响.随土层深度增加,各样地土壤容重增大;同一土层样地之间土壤容重存在较大差别,未砍伐 > 砍伐不开垦 > 砍伐并开垦(图 2).由于植被砍伐,限制地表枯落物的形成,进而限制了土壤有机质的累积,特别是砍伐并开垦的样地,由于侵蚀等作用进一步导致土壤有机质含量降低,土壤容重较大.而未砍伐样地的地表枯落物不断累积,并逐渐分解形成土壤有机质,使得土壤容重相对较小.

由图 2 可见,同一类型样地土壤容重在沟缘线上、下也存在一定差别.沟缘线下土壤容重变幅相对

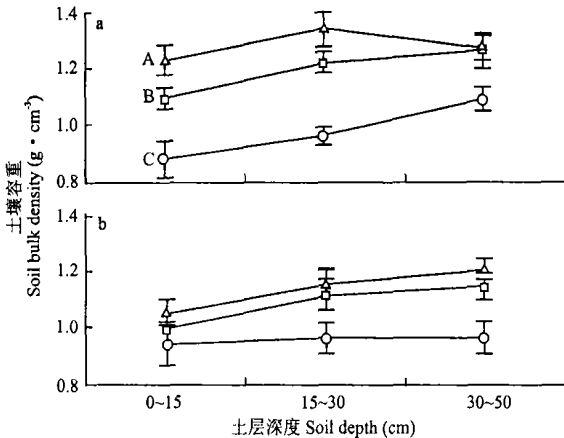


图2 不同干扰下土壤容重在土壤剖面上的变化

Fig. 2 Dynamics of soil bulk density in soil profile under different disturbance.

沟缘线上较小,并且沟缘线以下土壤容重相对沟缘线上小。由于侵蚀作用,沟缘线以上土壤有机质在降雨侵蚀下随径流移动到沟缘线以下样地,从而改变沟缘线以下土壤性质,导致土壤容重降低。另外,由于风的作用,将沟缘线以上植被的一些枯枝落叶吹到沟缘线以下样地,也促进了沟缘线以下样地的土壤有机质含量增加,从而使土壤容重变小。

3.3 人为干扰对土壤有机质的影响

土壤有机质是陆地生物圈生物地球化学循环的主要成分之一,是评价土壤质量的一个重要指标^[16]。土壤有机质是植物养分元素循环的中心,不仅提高土壤养分的有效性,而且能增加土壤团聚体、团聚体的稳定和渗透率,减少雨滴和径流等对土壤结构的影响,因此,土壤有机质的动态稳定是生态系统健康运行的基础。

人为扰动对土壤有机质有较大影响,砍伐开垦的样地土壤有机质极低($<1\%$),砍伐不开垦和未砍伐的样地土壤有机质含量较高(图3)。这主要是由于砍伐开垦后,没有枯落物腐烂分解补充土壤有机质,同时由于砍伐开垦引起严重的土壤侵蚀作用,使得原来富含有机质的表层土壤遭到侵蚀,大量有机质随表土的流失而流失,表现为与未砍伐和未开垦相比土壤有机质含量极小。而对于砍伐不开垦的样地,虽然植被遭到了严重的破坏但是土壤表层所受的扰动较小,由于有良好的土壤团粒结构,因此在砍伐后不会引起强烈的侵蚀作用,同时,在砍伐后植被慢慢恢复,逐渐有新的枯落物形成并分解成为土壤有机质。因此表现为砍伐不开垦样地的有机质变化不大,基本与未砍伐的林地相当。

随土层深度增加,土壤有机质含量下降;对于同

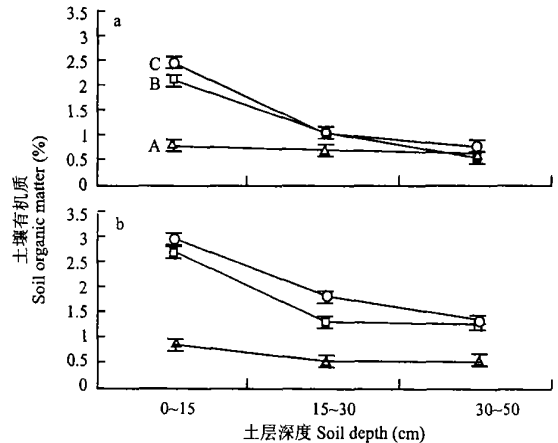


图3 不同干扰下土壤有机质在土壤剖面上的变化

Fig. 3 Dynamics of soil organic matter in soil profile under different disturbance.

一类型样地,沟缘线以下土壤有机质含量要高于沟缘线以上土壤,这主要是降水形成的径流将沟缘线以上土壤有机质带入沟缘线以下土壤(图3)。同时,由于刮风和重力影响沟缘线以上的一些枯落物也会转移到沟缘线以下,从而使沟缘线以下土壤有机质增加。

3.4 人为干扰对土壤团聚体的影响

土壤团聚体是土壤肥力的调节中心,同时也影响着土壤的持水性、通透性和抗蚀性。样地土壤稳定性团聚体($>0.25\text{ mm}$)含量分析表明,砍伐并开垦对土壤团聚体含量有较大的影响(图4)。这主要是由于砍伐并开垦后土壤有机质迅速下降,同时,由于土壤侵蚀破坏,从而使砍伐开垦的样地土壤团聚体含量下降。另外,砍伐并开垦样地与未开垦或未砍伐样地的一个重要差别是前者没有植物根系的穿插和缠绕作用,从而在团聚体形成上受到一定的限制^[21,22]。而砍伐未开垦和未砍伐样地由于土壤有机质相差不大,侵蚀作用也很小,因此土壤团聚体含量

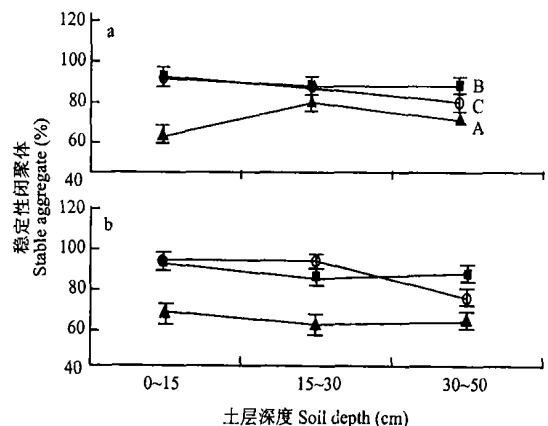


图4 不同干扰下土壤团聚体在土壤剖面上的变化

Fig. 4 Dynamics of soil stable aggregate in soil profile under different disturbance.

表 2 不同土壤微生物区系分布
Table 2 Distribution of soil microbe in different sample

样地 Sample		土层深度 Soil depth (cm)	细 菌 Bacteria ($\times 10^7 \text{ g}^{-1}$ dry soil)	真 菌 Fungi ($\times 10^4 \text{ g}^{-1}$ dry soil)	放 线 菌 Actinomycetes ($\times 10^5 \text{ g}^{-1}$ dry soil)	微生物总数 Microorganism ($\times 10^7 \text{ g}^{-1}$ dry soil)
A	Up	0 ~ 15	7.87	0.86	6.17	7.93
		16 ~ 30	2.68	0.01	2.51	2.71
		31 ~ 50	0.78	0.08	2.85	0.80
	Below	0 ~ 15	0.85	0.22	9.41	0.95
		16 ~ 30	2.24	0.01	4.83	2.25
B	Up	31 ~ 50	1.21	0.01	4.12	1.22
		0 ~ 15	981.06	0.65	13.90	981.20
		16 ~ 30	410.70	0.98	14.06	410.84
	Below	31 ~ 50	10.27	0.51	15.00	10.42
		0 ~ 15	1326.61	4.55	4.25	1326.66
C	Up	16 ~ 30	536.16	0.60	5.13	536.22
		31 ~ 50	0.47	0.40	3.96	0.51
		0 ~ 15	1536.65	5.61	512.62	1541.78
	Below	16 ~ 30	518.86	10.35	6.27	518.93
		31 ~ 50	1.26	0.01	4.23	1.30
	Below	0 ~ 15	1597.11	0.90	8.59	1597.19
		16 ~ 30	381.20	0.19	6.86	381.27
		31 ~ 50	60.87	0.19	3.76	60.9

差别不大.同时,对于同一类型的样地沟缘线上下土壤团聚体含量差别不显著.这可能是虽然沟缘线上、下土壤有机质存在一定差别,但是还不足以引起土壤团聚体含量变化.

3.5 人为干扰对土壤微生物的影响

土壤微生物是控制生态系统中 C、N 和其他养分循环的关键,是土壤肥力发育的原动力^[14].同时,外界干扰和土壤各种因素的变化也对土壤微生物的类群与分布产生重要影响.随土层深度增加,各个样地土壤细菌、真菌和放线菌都出现由上而下急剧递减的趋势(表 2).三大类土壤微生物中,细菌最多、真菌最少,并且都主要集中在土壤表层,特别是 0~15 cm 土层微生物最多.这主要是由于表层土壤有机质含量相对较高,土壤疏松具有较好的通透性和较快的热交换能力,为微生物的生活提供了理想的条件,有利于微生物的生长繁殖.细菌在表层土壤中所占比例远高于底层土壤,而真菌和放线菌则在地层土壤中占有较大比例(表 2).这一方面是由于细菌消耗大量养分,影响了真菌和放线菌的繁殖,从而在表层土壤中真菌和放线菌所占比例较小;另一方面,由于真菌和放线菌能形成菌丝体,对干旱缺水和不通气等不良环境有较强的适应能力,从而比细菌生长好,因此所占微生物比例也上升^[24].

不同扰动下土壤微生物数量有较大差异,各个土层都显示出未砍伐>砍伐未开垦>砍伐并开垦(表 2).土壤微生物生命活动受到土壤含水量、土壤容重、土壤有机质和土壤通透性的影响.而这些土壤物理化学因子在不同扰动下都存在着变化,因此土

壤微生物数量在不同的扰动下也表现出一定的差异.

4 结 论

人为干扰对土壤生态因子具有明显的影响.植被砍伐、林地开垦使土壤理化性质变差,土壤侵蚀加剧林地质量严重退化,土壤微生物数量和活性降低.在土壤剖面上,土壤有机质、团聚体和微生物数量由上而下逐渐下降,土壤容重增大,土壤变得板结紧实.土壤生态因子在沟缘线上下呈现一定差别.3 种样地类型都体现出沟缘线下土壤有机质、土壤含水量增加,土壤容重降低,土壤微生物数量增加的趋势.

参考文献

1 Abrila A, Barttfeld P, Bucher E H. 2005. The effect of fire and overgrazing disturbs on soil carbon balance in the Dry Chaco forest. *For Ecol Man*, **206**:399~405

2 Chen L-D (陈利顶), Fu B-J (傅伯杰). 2002. Ecological significance, characteristics and types of disturbance. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **20**(6):807~816 (in Chinese)

3 Cheng L-J (程丽娟), Xue Q-H (薛泉宏). 2000. Technology of Microbe Experiment. Xi'an: World Publication Xi'an Company. (in Chinese)

4 Ding W-F (丁文峰), Ding D-S (丁登山). 2002. The fractal features of soil granule structure before and after vegetation destruction on Loess Plateau. *Geogr Res* (地理研究), **21**(6):700~706 (in Chinese)

5 Gong J (巩杰), Chen L-D (陈利顶), Fu B-J (傅伯杰), et al. 2004. Effects of land use and vegetation restoration on soil quality in a small catchment of the Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(12):2292~2296 (in Chinese)

6 Hobbs RJ. 1991. Disturbances as a precursor for weed invasion in native vegetation. *Plant Prot Quart*, **6**:99~104

7 Hobbs RJ, Huenneke LF. 1992. Disturbance, diversity, and invasion: Implications for conservation. *Cons Biol*, **6**:324~327

8 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (中国科学院土壤研究所). 1978. Mensuration of Soil Physical Property. Beijing: Science Press. (in Chinese)

9 Liu Z-M (刘志民), Chen H-S (陈顺怀), Liu X-M (刘新民). 2002. Characteristics and challenges in the study of the relationship between vegetation and disturbance. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), **17**(4):582~587 (in Chinese)

10 Lin B (林波), Liu Q (刘庆), Wu Y (吴彦), et al. 2004. Dynamics of litters in artificial restoration process of subalpin coniferous forest. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(9):1491~1496 (in Chinese)

11 Louis D, Rock O, Jean-David M, et al. 2005. Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Quebec, Canada. *For Ecol Man*, **208**:223~236

12 Maria TZT, Ary TOF. 2004. Variations in tree community composition and structure in a fragment of tropical semideciduous forest in southeastern Brazil related to different human disturbance histories. *For Ecol Man*, **198**:319~339

13 Miren O, Izaskun D, Isabel A, et al. 2004. Vegetation diversity and vertical structure as indicators of forest disturbance. *For Ecol Man*, **195**:341~354

14 Murata T, Tanaka H, Yasue S. 1999. Seasonal variations in soil microbial biomass content and soil neutral sugar composition in grassland in the Japanese Temperate Zone. *Appl Soil Ecol*, **11**:253~259

- 15 Pascarella JB, Mitchell AT, Zimmerman J K. 2004. Short-term response of secondary forests to hurricane disturbance in Puerto Rico, USA. *For Ecol Man*, **199**:379 ~ 393
- 16 Percival HJ, Parfitt RL, Scott NA. 2000. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grassland: Is clay content important? *Soil Sci Soc Am J*, **64**:1623 ~ 1630
- 17 Robert J, Guillaume C, Nelson T. 2004. Plant species diversity and composition along an experimental gradient of northern hardwood abundance in *Picea mariana* plantations. *For Ecol Man*, **198**:209 ~ 221
- 18 Seng HW, Wickneswari R, Shukor MN, *et al.* 2004. The effects of the timing and method of logging on forest structure in *Peninsular Malaysia*. *For Ecol Man*, **203**:209 ~ 228
- 19 Tang K-L (唐克丽). 2004. Chinese Soil and Water Conservation. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 20 Wei B (魏 斌), Zhang X (张 霞), Wu R-F (吴热风). 1996. Disturbance theory and applied example in the ecology. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **15**(6):50 ~ 54 (in Chinese)
- 21 Wu Y (吴 彦), Liu S-Q (刘世全), Fu X-Q (付秀琴), *et al.* 1997. Study on improving soil's waterstable aggregates amounts by botanic roots. *J Soil Water Cons* (水土保持学报), **3**(1):45 ~ 49 (in Chinese)
- 22 Yu W-T (宇万太), Shen S-M (沈善敏), Zhang L (张 璐), *et al.* 2004. Relationships between water-stable aggregates and nutrients status in black soil after reclamation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(12):2287 ~ 2291 (in Chinese)
- 23 Zhang Q-F (张庆费), Song Y-C (宋永昌), You W-H (由文辉). 1999. The relationship of vegetation secondary succession and soil fertility in Tiantong area. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **19**(2):174 ~ 178 (in Chinese)
- 24 Zhang C-E (张成娥), Chen X-L (陈小莉), Zheng F-L (郑粉莉). 1998. Study on relationship between soil microbial biomass and fertility in different environments of Ziwuling forest area. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **18**(2):218 ~ 222 (in Chinese)
- 25 Zhang F-L (郑粉莉), Tang K-L (唐克丽), Zhang K-L (张科利). 1995. Relationship of eco-environmental change and natural erosion and man-made accelerated erosion. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **15**(3):251 ~ 259 (in Chinese)
- 26 Zou H-Y (邹厚远), Liu G-B (刘国彬), Wang H-S (王晗生). 2002. The development of vegetation in North Ziwuling forest area in the latest 50 years. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **22**(1):1 ~ 8 (in Chinese)
- 27 Zu Y-G (祖元刚), Zhao Z-H (赵则海), Yang F-J (杨逢建), *et al.* 2004. Influences of artificial disturbing degrees on soil conditions and liquorice roots system. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **24**(5):724 ~ 729 (in Chinese)

作者简介 周正朝,男,1980年2月生,博士生.主要从事植物生态与环境演变、植被与土壤侵蚀关系的研究. Tel:029-87019107; E-mail:zhouzhengchao @126.com
