

土壤侵蚀退化研究

程冬兵¹,蔡崇法¹,左长清²

(1. 华中农业大学 资源与环境学院,武汉 430070;2. 江西省水土保持科学研究所,南昌 330029)

摘 要:土壤退化是全球性的重大环境问题之一,直接威胁人类的生存。在引起土壤退化的诸因素中,土壤侵蚀是最普遍和最重要的因素。在前人土壤侵蚀退化研究成果的基础上简单回顾了其发展现状,重点综述了土壤侵蚀退化机理,并针对性地提出了土壤侵蚀退化防治措施。

关键词:土壤退化;土壤侵蚀;措施

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)05-0252-03

Advances in Research of Soil Degradation by Erosion

CHEN G Dong-bing¹,CAI Chong-fa¹,ZUO Chang-qing²

(1. College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China)

Abstract: Soil degradation is one of the most serious environment problems in the world, which threatens the human existence directly. Among those factors which cause soil degradation, soil erosion is the most popular and important factor. Based on the predecessors' achievements of soil degradation by erosion, the authors briefly review the development status of soil degradation by erosion, especially in its mechanism, and then put forward the measures to prevent and control soil erosion pertinently.

Key words: soil degradation; soil erosion; measure

近几十年来,随着世界人口的急剧增长,耕地的日趋减少,及其对土壤资源的依赖,促使森林锐减,草原的过度放牧和开垦,等等。这一系列人为活动加快了土壤退化的进程,致使土壤生产能力局部丧失或全部丧失。随着土壤退化空间的不断扩大和强度的日益增加,原先局部的、次要的变化已转化为全球性的重大变化,直接威胁着人类赖以生存的环境,成为当今世界人类面临的最大挑战之一^[1]。

据统计,全球土壤退化面积达 1 965 万 km²。就地区分布来看,地处热带亚热带地区的亚洲、非洲土壤退化尤为突出,约 300 万 km² 的严重退化土壤中有 120 万 km² 分布在非洲、110 万 km² 分布于亚洲;就土壤退化类型来看,土壤侵蚀退化占总退化面积的 84%,是造成土壤退化的最主要原因之一;就退化等级来看,土壤退化以中度、严重和极严重退化为主,轻度退化仅占总退化面积的 38%^[2~5]。在我国,土壤退化总面积约 460 万 km²,占全国土地总面积的 40%,是全球土壤退化总面积的 1/4。其中土壤侵蚀面积 355.56 万 km²,占国土面积的 37.42%,亟待治理面积仍有 200 万 km²^[6]。

1 土壤侵蚀退化概念及其分类

J. Riquier 认为(1977)土壤退化(Soil degradation)是指土壤中所进行的一种或多种能使土壤目前或潜在的生产能力(质量上或数量上)降低的过程。R. Lal 和 B. A. Stewart (1992)在“土壤退化:全球的威胁相互作用的结果”^[7]。张桃林(2000)认为土壤退化是指在各种因素,特别是人为因素影响下所发生的导致土壤的农业生产能力或土地利用和环境调控潜力,即土壤质量及其可持续性下降(包括暂时性的和

永久性的)甚至完全丧失其物理的、化学的和生物学特征的过程,包括过去的、现在的和将来的退化过程,是土地退化的核心部分^[8]。

史德明认为,土壤退化有广义的和狭义两种涵义。前者指在不受人为活动干扰的自然条件下形成的,目前人类尚难以控制其发生和发展。如灰化作用、白浆化过程、潜育化过程和盐碱化过程等。后者是由于人类不合理的生产活动和自然因素的综合作用,导致土壤肥力和生产力的衰减甚至完全丧失的过程。目前人们经常提及和关注的土壤退化即指这种退化现象。如由土壤加速侵蚀、土壤沙化、次生盐渍化、次生潜育化和土壤污染等引起的土壤退化,即属于这种类型,它们均与人类活动有关。因此,改变不合理的土地利用方式,对预防土壤退化具有积极的意义^[9]。

1971 年联合国粮农组织在《土壤退化》一书中,将土壤退化分为 10 大类:即侵蚀、盐碱、有机废料、传染性生物、工业无机废料、农药、放射性、重金属、肥料和洗涤剂。后来又补充了旱涝障碍、土壤养分亏缺和耕地非农业占用 3 类^[10]。我国中科院南京土壤所借鉴国外的分类,根据我国的实际情况,将我国土壤退化分为土壤侵蚀、土壤沙化、土壤盐化、土壤污染以及上列各项的土壤性质恶化、耕地的非农业占用 6 类^[11]。

在引起土壤退化的诸因素中,土壤侵蚀是最普遍和最重要的因素。它所引起的土壤退化面积最广,危害也最严重。早在 1971 年,联合国粮农组织在“世界土地退化问题的优先次序建议”中,将土壤侵蚀及其带来的淤积过程列为第一类的第一项,这是非常合理而科学的评估^[9]。全球土壤退化评价(Global Assessment of Soil Degradation)研究结果显

* 收稿日期:2006-05-23

作者简介:程冬兵(1979-),男,博士研究生,研究方向为水土保持与土壤水文。

示^[2~5],土壤侵蚀是最重要的土壤退化形式,全球退化土壤中水蚀影响占56%,风蚀占28%;刘良梧等(1995)结合我国山地丘陵多、土壤侵蚀分布广的特点,把由于水、风、重力等外营力作用使得土壤物质发生迁移而引起的土壤退化称为侵蚀退化^[1]。据估计,世界每年土壤流失量为250亿t,相当于损失土地6~7万km²,40多年来世界可耕地因此损失近1/3。我国每年土壤流失量占世界流失总量的1/5,相当于全国耕地削去10mm厚的肥土层,损失N、P、K约合4000万t化肥^[12]。

2 土壤侵蚀退化研究概况

国外对土壤退化的研究,实践先于理论,早期主要侧重于土壤侵蚀、沙漠化和污染等治理方面^[13]。美国每年的土壤侵蚀总量达36亿t,所以特别重视土壤侵蚀退化的研究,并在20世纪50年代建立了有关机构和地区观测试验站,同时开展了流域的治理,如田纳西流域的治理,很有成效^[14]。对于侵蚀研究较为系统的总结是英国M. L. Kirkby和R. P. C. Morgan,其有关土壤侵蚀的研究试验、侵蚀量估计、水蚀机理等都很有参考意义。在侵蚀机理研究上他们认为采用通用流失方程(USLE)是对其表述的最好方式,有利于侵蚀因素的定量分析^[15]。Verity(1990)对加拿大侵蚀暗棕壤研究表明,土壤有机质、N、P、S随土壤侵蚀强度增加而减少。前苏联M. H. 扎斯拉夫斯基对退化的黑钙土进行研究发现,土壤腐殖质的量总是随着土壤退化的增强而明显下降^[16]。Gihacek等(1994)对美国15种侵蚀土壤进行比较研究,发现土壤有机C、硝态N、速效P和有机Zn、Fe、Mn下降^[17]。

我国早在20世纪50年代即开展了土壤退化问题的研究,主要集中于丘陵山区土壤侵蚀防治、红壤酸化防治、土壤肥力恢复等方面。在西南地区,结合流域治理,通过在金沙江干热河谷区、岷江上游地区、云贵川石漠化山区及西藏退化草场区等严重的土壤退化分布区开展综合研究,提出了在水蚀、干热和石灰岩溶地质等脆弱生态条件下防治土壤侵蚀的一整套改良技术措施。在西北地区,通过开展黄土高原土壤侵蚀和水土流失防治研究、干旱土壤沙漠化和盐渍化防治研究等工作,大大推进了土壤侵蚀退化的研究深度^[18~26]。

3 土壤侵蚀退化机理

3.1 土壤薄层化过程

土壤是植物生长的介质,良好的土体构型可为植物提供适宜的生长环境,使其具有较好的保水保肥、耐旱耐涝、透气透水、导热性强等特性,同时具有良好的协调供应植物所需的水肥的能力。但当土壤遭受侵蚀时,土壤层不断变薄,使失去A、B、C层和谐排列的土体构型,土壤的水肥气热条件及调节功能也随之恶化和降低,显然又会影响到植物(或作物)根系的生长和发育,这一系列过程促使土壤返回到矿物质的原始状态,产生逆向发育过程(regressive development)。由于逐次露出下部的土层(发生层),引起表层土壤物理、化学和生物性质的变化,直接导致土壤性质全面劣化。土壤薄层化使土壤数量不断减少的同时,也使土壤质量在日益变差,充分体现出土壤退化的普遍规律——土壤质量的下降和数量的减少^[9,27]。

侵蚀土壤的退化过程,实际上是一个反成土作用的过程,不仅全面破坏原有的土壤特性,而且毁坏整个土体。如花岗岩母质发育的红壤,在侵蚀退化过程中,出现明显的逆向发育现象。土壤微形态分析结果说明,随着土壤的薄层化过程的发展,矿物的铁质化和黏化现象逐渐变弱,长石和云

母的蚀变过程降低,而半风化的碎屑物增多,使土壤具有逆向性发育的特点。

根据我国允许土壤流失量和侵蚀强度分级计算。我国不同侵蚀区的土壤每年净流失速度(厚度)从1.48mm至10.68mm。故就全国范围而言,凡是轻度及轻度以上流失区,土壤层普遍存在减薄趋势。

3.2 土壤养分循环失衡

土壤侵蚀过程与成土过程是同时存在和同步发展的。二者相结合的复合过程,在很大程度上决定着土壤的类型及分布,同时也决定着土壤的形成速度和肥力水平。当成土作用造就的物质质量大于侵蚀量时,可以形成“正常的”土壤发生剖面,促进土壤肥力不断提高。但当土壤侵蚀量大于成土作用形成的物质质量时,不但不能形成“正常的”的土壤剖面,而且使已形成的土壤层不断地被侵蚀,从而导致土壤的物质循环过程失衡^[28]。川西林区的定位试验表明,植被一旦被破坏,土壤物质循环即开始失调^[29]。

土壤侵蚀速度(即加速侵蚀量)与成土速度(成土物质质量)的比值(A/T),是衡量土壤中物质循环盈亏情况的重要指标。根据我国主要侵蚀类型区土壤侵蚀量与允许流失量的比值可以看出,广大流失区的土壤物质循环均处于失衡状态。如西北黄土高原A/T值为1.0~15.0,北方土石山区、南方红壤丘陵区和西南土石山区达1.0~30.0,东北黑土区最高可达75.0,土壤中流失的物质质量远远高于归还土壤的物质质量^[30]。

3.3 土壤性质劣化和贫瘠化

土壤性质劣化主要指物理退化、化学退化和生物退化。物理退化包括土壤性质的不良变化,如容重增加、孔隙度减少、结构性变差、渗透性降低和坚实度增大等。未蚀红壤的表层(有机质层)具有良好的物理特性,但随着表层逐渐变薄甚至消失,淀积层出露地表,黏粒和铁铝氧化物含量增多,导致土壤坚实度和容重增大。由于土壤通气孔隙减少,使渗透性降低,同时伴随着导热、导气、导水的不利变化,有机质含量减少和结构变差,也给土壤的化学性质和生物性质的改变带来不利影响,从而在总体上导致土壤调节水肥气热功能降低。对红壤区不同侵蚀土壤的分析数据进行的回归分析表明,随着侵蚀速度的增大(或侵蚀程度增高),土壤的水、肥、气、热状况和土体构型随之劣化,导致土壤退化和土壤生产力下降^[31]。

土壤贫瘠化是侵蚀土壤退化最基本的特点之一。由于养分元素含量在土壤剖面中有由上而下递减的垂直分布特点。随着土壤退化程度加大,土壤有机质、全氮、全磷含量均相应减少。定位观察资料表明,在密林下,枯枝落叶和氮、磷、钾元素的积累量,分别为严重流失坡地的40倍和41倍。特别是发育在花岗岩母质的红壤,有机质和养分含量下降更加明显,当C层出露地表后,养分枯竭而且土层过于紧实,阻碍植物的生长,甚至形成不毛之地。土壤动物、土壤微生物以及它们的活性均随着土壤退化程度加大而相应降低。

3.4 土壤砂质化和砾质化

土壤颗粒组成在土壤剖面中的垂直分异和土体中各颗粒组成的本底含量,直接影响土壤砂化的速度和强度。当地表径流带走土体中黏粒时,表土层砂粒和砾石量相对增多,土壤质地逐渐砂质化或砾质化,是土壤退化的又一重要特征。当退化程度加大,底部层次的出露使砂质化程度也相应增高。发育于花岗岩母质的红壤,砂质化速度快而且严重,这与花岗岩风化层特点有关。当土壤层和红土层被侵蚀后,下部质地较粗的砂土层或碎屑层出露地表,<0.01mm物理性黏粒含量一般仅有11%~20%,<0.002mm的黏粒含量通常在550g/kg以下,使侵蚀红壤处于剧烈退化阶段。砂质化直接导致

石英砂粒在地表积聚,有的厚达 3~5 cm,形成白茫茫的“白沙岗群”。这些地段由于切沟和崩岗侵蚀切割地表,构成千沟万壑的“劣地”景观,土壤和土地资源被严重破坏^[32]。

综上所述,侵蚀土壤退化的这种逆向发育过程,最终使万年形成的沃土消失,留下绝对年龄和相对年龄都很短的雏形土和新成土。

4 侵蚀退化土壤防治措施

从侵蚀土壤成因和发展过程的剖析可以看出,人类不合理的生产活动引起的土壤侵蚀(加速侵蚀)是导致侵蚀土壤退化的根本原因。为了防治侵蚀土壤退化,首先必需预防土壤侵蚀,从战略高度认识保护土壤资源。依据土壤侵蚀产生的原因、土壤侵蚀类型、方式以及防治目标,土壤侵蚀防治措施大体可概括为耕作措施、林草措施和工程措施三大类^[33~35]。

4.1 耕作措施

所谓耕作措施是指坡耕地通过改变耕作方式实行防治土壤侵蚀的工程。我国是耕地紧缺的国家,1999 年全国耕地面积为 $1.29 \times 10^6 \text{ km}^2$,其中流失面积 $4.87 \times 10^5 \text{ km}^2$, >25 的坡耕地,约 $5.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。坡耕地是土壤侵蚀的主要发生区,泥沙的主要来源区。为了减少水土和养分流失就要采取既利于生产又利于防治土壤侵蚀的耕作措施。土壤保持耕作措施按其作用可以分为三类:一是通过改变微地形蓄水保土,如水平犁沟、等高耕种、等高带状间作和等高沟垄作等;二是增加地面粗糙度的耕作措施,如草带间作、覆盖耕作和免耕等;三是改良土壤理化性质的耕作措施,如蓄水聚肥耕作等。

4.2 林草措施

林草措施是林业措施和草业措施的合称,是在土壤侵蚀区人工造林或飞播造林种草、封山育林育草等,为涵养水源、

保持水土、防风固沙、改善生态环境、开展多种经营、增加经济效益而采取的技术方法。林草措施主要用于因失去林草的荒山荒坡和退耕的陡坡地的土壤侵蚀防治。区域林草措施选择应该根据当地自然环境条件和植物的生境条件来决定,最终目的是恢复原来的环境面貌。从防治土壤侵蚀的角度出发,水土保持林种选择和配置应该依据当地的自然生态环境和立地条件确定。

4.3 工程措施

工程措施是重要的土壤侵蚀防治措施之一,它涵盖治坡工程和治沟工程,保水保土的基本原理与功能是拦蓄或滞留坡面径流,从而达到减少坡面和沟道的侵蚀产沙的同时也能充分地利用水资源改善农业生产条件,主要土壤侵蚀防治工程有治坡工程,如梯田、截流沟和鱼鳞坑等;以及治沟工程,如沟头防护工程、谷坊工程、淤地坝、骨干坝和塘堰等。

以上三种类型土壤侵蚀防治措施,都有各自的保水保土功能,相互不能替代,但相互合作与促进。因为任何一处土壤侵蚀区,产生土壤侵蚀的地貌部位不外乎坡面与沟谷,从土地利用看无非是坡耕地、荒坡或沟道地。全面地制止土壤侵蚀就必须在不同的地貌部位,根据不同的土地利用类型,采用不同的措施;如坡耕地最有效的是采取工程措施,修成梯田;但也不是所有的坡耕地都要改成梯田,有时只要通过耕作耕作措施就能防治土壤侵蚀,如非耕种的荒坡地只要采用林草措施,而不一定非梯田。沟谷的土壤侵蚀防治就要通过谷坊、淤地坝和小型水利工程。梯田、林草和坝库等三项措施分别拦蓄不同地貌部位、不同土地利用方式产生的土壤侵蚀,各自都起到保持水土的作用,相互不能替代,但相互补充。而且,各项土壤保持措施之间有严格分工,但又是相互关联的,既存在相互制约,又相互促进。

参考文献:

- [1] 刘良梧, 龚子同. 全球土壤退化评价 [1]. 自然资源, 1995, (1): 10 - 15.
- [2] GLASOD. Global assessment of soil degradation [M]. World maps. Wageningen (Netherlands): ISRIC and PUNE, 1990.
- [3] Oldeman L R, Engelen V W P Van, et al. The extent of human-induced soil degradation [M]. Annex 5 "World Map of the status of human-induced soil degradation, An explanatory note." Wageningen, Netherlands: ISRIC, 1990.
- [4] Oldeman L R, Hakkeling R T A, Sombroek W G. World map of the status of human-induced soil degradation [Z]. An explanatory note, Wageningen, Netherlands: ISRIC and PUNE, 1991.
- [5] Oldeman L R. The global extent of soil degradation [A]. In: D J Greenland, I Szabolcs. Soil Resilience and Sustainable Land Use [M]. CAB International, Wallingford, UK, 1994. 99 - 118.
- [6] 许峰, 郭索彦, 张增详. 20 世纪末中国土壤侵蚀的空间分布特征 [J]. 地理学报, 2003, 58(1): 139 - 146.
- [7] R Lal and B A Stewart. Need for Land Restoration [J]. Advances in Soil Science, 1992, (17): 1 - 9.
- [8] 张桃林, 王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋向 [J]. 自然资源学报, 2000, 15(3): 280 - 284.
- [9] 史德明, 韦启藩, 梁音. 关于侵蚀土壤退化及其机理 [J]. 土壤, 1996, (3): 140 - 144.
- [10] 联合国粮食及农业组织. 土地退化 [M]. 罗马, 1971.
- [11] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000, 292 - 293.
- [12] 杨鹏. 防治土壤退化 [J]. 国土与自然资源研究, 2002, (4): 32 - 33.
- [13] 何毓蓉, 等. 中国紫色土 (下篇) [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 379 - 380.
- [14] 唐克丽, 史德明. 土壤侵蚀的研究及其展望 [A]. 中国土壤的合理利用和培肥 (上册) [M]. 北京: 农业出版社, 1983. 218.
- [15] 胡荣梅. 土壤环境保护和土壤环境化学 [A]. 中国土壤的合理利用和培肥 (上册) [M]. 北京: 农业出版社, 1983. 247.
- [16] Verity G E. Soil erosion effects on soil quality and yield [J]. Can J Soil, 1990, 70: 471 - 484.
- [17] CIHACEK L J. Effects of erosion on soil chemical properties in the north region of the United States [J]. J Soil Water Cons, 1994, 49(3): 259 - 265.
- [18] 唐克丽. 黄土高原水土流失与退化研究初报 [J]. 环境科学, 1984, (5): 5 - 10.
- [19] 李鼎新. 水土流失造成的土壤肥力退化及逆转途径 [J]. 水土保持通报, 1988, 8(3): 46 - 54.
- [20] 万勇善. 南方花岗岩侵蚀区土壤退化研究 [J]. 水土保持学报, 1991, 5(3): 80 - 87.
- [21] 余存祖. 黄河中上游土壤微量元素养分的流失和控制 [J]. 中国水土保持, 1993, (4): 20 - 22.
- [22] 章明奎. 低丘红壤上小麦生长的变异性与土壤侵蚀的关系 [J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 70 - 76.

小康生活对人均现金收入的期望值平均为 3447 元/人,但高低差异极大,高者达 10 000 元/人,低者仅 750 元/人,高低相差 13 倍多。从总体情况看,大部分农户人均现金收入的小康期望值在 2 000 元至 5 000 元之间,有 410 户,占 85.59%;2 000 元以下的有 34 户,占 7.1%;5 000 元以上的有 35 户,占 7.31%。

从被调查农户近年的生计打算看,能获得稳定收入且报酬相对较高的行业仍是农民谋生的首选,有资金积累或一定技能的农户的生计方向在发生变化。打算外出打工的农户有 226 户,占 47.18%,与 2003 年相比虽有所下降,但所占比例仍较大。保持现状的农户有 85 户,占 17.75%,基本上都是兼业户。打算做生意和买车跑运输的农户呈现为大幅度增加趋势,2003 年做生意专业户为 15 户,尚无买车跑运输农户,而调查结果显示打算做生意的农户有 43 户,买车跑运输的农户有 13 户,合计占被调查农户的 11.69%。打算发展畜牧或养殖的农户有 29 户,从事种植业的农户有 27 户,种大棚菜的农户有 24 户,三者合计占被调查农户的 16.7%。此外,有 6 户打算发展林果业,2 户打算开矿或石料厂,另有

25 户没有明确的打算。

4 结 论

(1)退耕政策实施 4 年来,被调查农户合计退耕坡地 437.74 hm²,退耕指数达 79.21%,人均退耕面积为 0.205 hm²/人。2003 年 479 农户因退耕导致的粮食减产量人均约 74 kg;退耕农户获得政府补贴合计 36.48 万元,占农户现金总收入的 11.45%;退耕补贴对贫困农户的影响程度较大,退耕补贴停止后的反垦可能性仍存在。

(2)被调查农户农业生产的总体特点是农林牧并举,但以种植业为主;技术要求较高的大棚菜、林果园艺和养畜业渐成为农户经营农业的重点。

(3)2003 年被调查农户人均现金收入 1 492 元/人,主要来源于外出打工、卖粮菜、退耕补贴、卖畜禽产品和做小生意等。从农户现金收入来源构成看,农民的生计行为具有较强的对外依赖性。能获得稳定收入且报酬相对较高的行业是农民近年谋生的首选,有资金积累或一定技能的农户在将生计转向高附加值农业和第三产业。

参考文献:

- [1] 钱征寒,倪晋仁,薛安.黄河断流严重程度分级与判别方法[J].地理学报,2001,56(6):691-699.
- [2] 刘昌明,成立.黄河干流下游的断流序列分析[J].地理学报,2000,55(3):257-264.
- [3] 唐克丽,张科利,雷阿林.黄土丘陵区退耕上限坡度的研究论证[J].科学通报,1998,43(2):200-203.
- [4] 陈利顶,傅伯杰,Ingmar Messing.黄土丘陵沟壑区典型小流域土地持续利用案例研究[J].地理研究,2001,20(6):713-722.
- [5] 李鹏,李占斌,郑良勇.黄土陡坡径流侵蚀产沙特性室内实验研究[J].农业工程学报,2005,21(7):42-45.
- [6] Li Xiaojian,Jim Peterson,Liu Gangjun et al. Assessing regional sustainability:the case of land use and land cover change in the middle Yiluo catchment of the Yellow River Basin[J]. Applied Geography,2001,21(1):87-106.
- [7] Xu Yong,Guo Tengyun,Yang Guoan. A comparison between different ecological de-farming modes in the Loess Hilly-gully region in China[J]. Journal of Geographical Sciences,2005,15(1):53-60.
- [8] 徐勇,甘国辉,王志强.基于 WIN-YIELD 软件的黄土丘陵区作物产量地形分异模拟[J].农业工程学报,2005,21(7):61-64.
- [9] 田均良,刘普灵,张翼.治理水土流失再造山川秀美延安-对中尺度生态环境建设中落实朱总理指示的认识和思考[J].水土保持研究,2000,7(2):4-9.
- [10] 彭文英,张科利,李双才.黄土高原退耕还林(草)紧迫性地域分级论证[J].自然资源学报,2002,17(4):438-443.
- [11] 田均良,梁一民,刘普灵.黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[M].郑州:黄河水利出版社,2003.243-269.
- [12] 延安地区农业区划委员会.陕西省延安地区农业区划报告[Z].1987.78-94.
- [13] 刘胤汉.关于陕西省自然地带的划分[J].地理学报,1980,35(3):210-218.
- [14] 徐勇,韩国义.黄土丘陵区生态农业建设效益评价指标体系初步研究[J].水土保持研究,2002,9(4):139-143.
- [15] 吴寒光.我国小康生活水平的测量尺度与标准[J].中国人口·资源与环境,1995,5(2):57-61.

(上接第 254 页)

- [23] 何毓蓉,张丹,等.金沙江干热河谷区云南土壤退化过程研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):1-5.
- [24] 钟祥浩.干热河谷区生态系统退化及恢复与重建途径——以云南金沙江典型区为例.[J]长江流域资源与环境,2000,9(3):376-383.
- [25] 张兴昌,邵明安.水蚀条件下不同土壤 N 素和有机质流失规律研究[J].应用生态学报,2000,11(2):231-234.
- [26] 史德明,韦启藩,梁音.中国南方侵蚀土壤退化指标体系研究[J].水土保持学报,2000,14(3):1-9.
- [27] 史德明.土壤侵蚀对生态环境的影响及防治对策[J].水土保持学报,1991,5(8):1-8.
- [28] 陈永宗,景可,等.黄土高原现代侵蚀与治理[M].北京:科学出版社,1988.
- [29] 余剑如,等.长江上游的水土流失与河流泥沙[J].水土保持学报,1988,2(1):1-16.
- [30] 中国科协学会工作部.中国土地退化防治研究[M].北京:中国科技出版社,1990.179-184.
- [31] 张桃林.中国红壤退化机制与防治[J].北京:中国农业出版社,1999.
- [32] 万勇善,席承藩,史德明.南方花岗岩区不同侵蚀土壤治理效果的研究[J].土壤学报,1992,29(4):419-426.
- [33] 龚子同.土壤环境变化[M].北京:中国科技出版社,1992.137-141.
- [34] 王礼先.全球土地退化现状与防治对策-第九届国际水土保持组织会议综述[J].中国水土保持,1997,(5):8-10.
- [35] 景可,王万忠,郑粉莉.中国土壤侵蚀与环境[M].北京:科学出版社,2005.