

土壤侵蚀对生态系统的影响

魏翔^{1,3}, 李占斌^{1,2}

(1. 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 杨陵 712100;
2. 西安理工大学, 西安 710000; 3. 安徽工程科技学院, 芜湖 241000)

摘要: 每年在世界陆地生态系统中大约有 750 亿 t 的土壤被侵蚀掉。农用地土壤流失速率在 13 ~ 40 t/(hm²·a) 之间, 因为土壤形成非常缓慢, 这就意味着土壤流失速率是更新速率的 13 ~ 40 倍。降雨和风力是耕地或裸地的两个主要侵蚀营力, 当土壤缺乏植被覆盖保护时侵蚀就发生了。土壤侵蚀造成水分、养分、土壤有机质、生物区系、土壤厚度等的流失或减少因而使土地生产力降低。土壤侵蚀加剧了由于人口的快速增长而带来的食物短缺问题的威胁。于是人们便开垦森林以弥补荒废的侵蚀农用地的损失。

关键词: 土壤侵蚀; 农业; 养分; 水分

中图分类号: S 157 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2006)01-0245-03

The Effect of Soil Erosion on the Ecosystem

WEI Xiang^{1,3}, LI Zhan-bin^{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 and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100;
2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710000, China; 3. Anhui University of Technology and Science, Wuhu 241000)

Abstract: Each year, about 75 billion tons of soil are eroded from the world's terrestrial ecosystems. Most agricultural land in the world is losing soil at rates 13 ~ 40 t/(hm²·a). Because soil is formed very slowly, this means that soil is being lost 13 ~ 40 times faster than the rate of renewal and sustainability. Rain and wind energy are the two prime causes of erosion from tilled or bare land. Erosion occurs when the soil lacks protective vegetative cover. Soil erosion reduces the productivity of the land by loss of water, soil organic matter, nutrients, biota, and depth of soil. The greatest threat to providing food for a rapidly growing human population is soil erosion. Abandoned, eroded agricultural land is replaced by clearing forested ecosystems.

Key words: soil erosion; agriculture; nutrients; water

1 前言

土壤侵蚀遍布世界各地, 严重影响了包括农业和森林在内的所有自然和人为生态系统。因此土壤侵蚀是世界上最严重的环境问题之一。它所带来的影响是深刻而持久的。随着人口的不断增加和人类活动方式和范围的扩大, 土壤侵蚀严重影响到了自然生态系统。侵蚀使得自然、农业和森林生态系统的土壤质量降低, 从而降低了其生产力。相应地动物、植物及微生物的多样性也减少了。最终使得整个生态系统的稳定性受动威胁。人们为了减少土壤侵蚀带来的作物减产, 施用了大量的化学肥料和杀虫剂。这样不仅增加了成本而且影响了人类健康同时也污染了环境。当农耕地受到侵蚀不断影响最终失去其生产力时, 它就会被人们放弃。而为了弥补这种损失, 人们便开垦森林以提供所需土地。从某种意义上来说侵蚀是森林开垦的主要原因。本文回顾了全球土壤侵蚀的概况以及侵蚀对自然和人为生态系统的影响。

2 土壤侵蚀规模

尽管在漫长的地质时间里自然生态系统内的土壤侵蚀

非常缓慢, 但经过几十亿年的累积其影响是显著的。从世界范围来看, 在相对平坦的、具有草本植被或森林地方的土壤侵蚀速率较低, 一般为 0.001 ~ 2 t/(hm²·a)。而在植被覆盖一般的山区土壤侵蚀速率较高, 达到 1 ~ 5 t/(hm²·a)。被侵蚀的土壤经常在谷地堆积形成大的冲积平原。在 10 hm² 土地上如果以 2 t/(hm²·a) 的土壤侵蚀速率计算的话, 在 100 a 里被侵蚀的土壤堆积在一起相当于 1 hm² 土层厚度达 15 cm 的土地。大多数的三角洲都是经过漫长时间土壤侵蚀的结果。大量被侵蚀的土壤一般在河流、湖泊和其他生态系统中沉积。黄河每年输送 20 亿 t 泥沙进入海湾^[1]。按照一些调查统计, 每年大约有 750 亿 t 肥沃土壤从农业生态系统中流失^[2], 而其他人士估计仅有 240 亿 t 流失^[3]。而事实上 750 亿数字只是保守估计。土壤学家 Lal^[4] 指出在印度每年流失量为 66 亿 t, 在中国每年也有 55 亿 t 的流失量。而上述两个国家占世界面积的 13%, 以此推断全球土壤流失量将达到 75 亿 t。

3 土壤侵蚀造成的土壤流失

当土壤暴露于水力或风力条件下就会发生侵蚀。雨滴击

① 收稿日期: 2005-07-12
基金项目: 中科院知识创新工程项目: 西部生态环境演变规律与水土资源可持续利用研究(编号: KZCX1-10-04)
作者简介: 魏翔(1970-), 男, 博士, 主要从事生态环境与土壤侵蚀方面的研究。

溅和地表片蚀导致地表土壤颗粒分离。片蚀是土壤侵蚀的主要形式。风能驱散土壤颗粒, 把它们从地面搬离。土壤颗粒经常被搬运到几千里外的地方。在非洲生态系统中被侵蚀的土壤颗粒竟然在巴西出现^[5], 而在中国春耕时被侵蚀掉的土壤能够在夏威夷发现^[6]。在被植物群落覆盖的地面由于雨滴和风的能量被消耗从而减小了土壤侵蚀。在发展中国家, 随着植被覆盖的减少、人口密度的增加, 经常需要依靠焚烧作物残茬来获取能量。在中国 60% 作物残茬被燃烧或浪费掉。在有些能源缺乏的地区甚至连草根和灌木都被收集和燃烧。这样的做法使得土壤日益贫瘠并且直接暴露于降雨和风的作用下。坡地上的侵蚀速率很高。尤其在陡坡森林上开垦的被用来替代由于侵蚀造成的无法生产的土地时, 其侵蚀速率更高。土壤结构本身也是影响侵蚀的重要因素。具有中等或较细质地的土壤、有机质含量较低以及结构发展较差的土壤更容易受到侵蚀。因为一般来讲上述土壤的渗透较差, 容易产生较大的地表径流造成侵蚀土壤在水流中的搬运。虽然土壤侵蚀的大多数是发生在农用地上, 但在其他人为生态系统中也有侵蚀发生。道路建设、停车场及其它建筑都存在类似问题。尽管由于场所不同侵蚀速率也从 20 到 500 t/(hm² · a) 不等, 它与干扰地面的时间长度有关。一旦上述地面有草或植被重新生长, 侵蚀就会降低。自然界中同样有侵蚀存在, 尤其在河流两岸。这些侵蚀都是发生在水流的运动当中。在陡坡(坡度大于 30%)水流的剪切作用是导致土壤侵蚀的主要因素。即使在平地上, 水流两岸也会遭到侵蚀, 特别是在暴雨和洪水时。在放牧牲畜的河岸将会进一步加大侵蚀。而且侵蚀还会伴随着崩塌和地震。地震产生的侵蚀量较少, 这是因为地震发生的频率较少的缘故。相比之下, 比地震发生更为频繁的崩塌其损害是更为普遍。崩塌经常是由于各种人为活动如公路建设、森林砍伐等造成的。

农用地上的土壤流失分为:

(1) 农作物用地。地球陆地表面将近一半的土地被用于农业生产, 其中大约 1/3 用来种植农作物, 2/3 用于畜牧业生产^[7]。由于农耕地经常重复耕作, 在降雨和风力的作用下很容易发生土壤流失。除此之外耕地一年内有好几个月因为空闲处于裸露状态。在农用地上的侵蚀比在自然森林地区的要大 75 倍之多^[2]。农田在降雨或风或是两者的共同作用下的土壤侵蚀量达到 100~200 t/(hm² · a)^[8]。而在极端环境下, 侵蚀量甚至可以超过 450 t/(hm² · a)^[9]。在 40 年期间, 连续不断的侵蚀造成 30% 的可耕地失去生产力从而在农业生产中被抛弃^[10]。这些被放弃的土地现在几乎不生产生物量, 同时也失去了其原先的动、植物物种的生物多样性。世界上农业生态系统中侵蚀速率最高的地区主要分布在亚洲、非洲和南美洲, 其平均侵蚀速率为 30~40 t/(hm² · a)。在发展中国家, 人们经常在土壤贫瘠、地形陡峭的地方耕作造成严重的水土流失。再加上一些中耕作物如玉米的种植使得侵蚀更为严重。

(2) 畜牧地。与农田的 13 t/(hm² · a) 平均土壤流失量相比, 畜牧地仅为 6 t/(hm² · a)。但如果过度放牧时土壤侵蚀速率会很快提高, 世界一半以上的牧场都存在过度放牧问题。在很多发展中国家, 由于大量放牧山羊和绵羊造成大量植被覆盖丧失, 使得土壤更易受到侵蚀。

(3) 林地。在稳定的森林生态系统中, 土壤受到植被保护, 侵蚀速率相对较低, 一般仅为 0.004~0.05 t/(hm² · a)。树叶枝干不但能够保护土壤地面, 还能够拦截雨滴, 降低降雨和风的动能。而一旦森林被开垦为耕地, 上述作用就会消失殆尽。

4 侵蚀对生产力的影响

侵蚀通过几种方式来对陆地生态系统的生产力产生影响。首先, 侵蚀增加了径流量、降低了土壤对水的渗透及存储能力。其次, 有机质和一些植物必需的营养元素在侵蚀过程中流失, 土层厚度也相应的变薄。这些变化都会减少土壤的生物多样性。因为上述因素之间的相互作用, 无法将每一种因素的作用同其他因素明确区分。例如土壤有机质减少会造成土壤储水能力下降, 从而间接的增加了径流量。而土壤营养水平下降又会造成整个生态系统的生物量和生物多样性的降低。总之, 侵蚀的累积作用直接造成植物生产力降低。

4.1 侵蚀对水分的影响

因为所有植被的生长发育都要求充足的水分, 水是所有陆地生态系统生产力的主要限制因素。侵蚀发生时会产生更多的地表径流, 减少了进入土壤中的水分, 能够支持植被的有效用水也会相应的减少。中等侵蚀强度的土壤比未遭受侵蚀的土壤在降雨时每 1 hm² 每年要少吸收 10~300 mm 水分, 这代表能够被植物利用的有效水分减少 7%~44%^[11]。20%~30% 降水吸收的减少意味着包括作物在内的所有植物用水的短缺^[12]。一般来说, 农业生态系统中的土壤有效水降低 20%~40%, 那么作物将会减产 10%~25% (其他因素相同的情况下)。这样的生物总量减少必将影响生态系统的生物多样性。

4.2 侵蚀对养分的影响

当土壤受到侵蚀时, 基本的营养元素如氮、磷、钾、钙等元素流失。未侵蚀土壤的养分含量是侵蚀土壤的 3 倍^[13]。1 t 肥沃的表土层含有 1~6 kg N、1~3 kg P、2~30 kg K, 而在侵蚀土壤上氮的含量仅有 0.1~0.5 kg/t^[14]。在这样养分水分低的土壤上植被的生产力会严重降低。土壤中的养分流失可以通过增施化肥或有机肥加以补充。但是这样必然要花费大量资金。

4.3 土壤有机质

风蚀和水蚀都能有选择性的移走土壤中细微的有机颗粒而留下大的颗粒和石块。因为大多数土壤有机质一般都为土壤表层枯枝落叶的腐质分解产生的, 因此表层土壤的侵蚀会导致土壤有机质的迅速减少。土壤有机质有助于土壤团聚体的形成和增加土壤渗透性, 通过改善土壤结构和渗透性质最终提高整个土壤的生产力。除此以外, 土壤有机质还能增加土壤离子交换量、提高根系生长水平、增加土壤生物量。一旦土壤有机质层被剥蚀, 土壤结构退化、养分流失导致整个生态系统的生产力下降。与未被侵蚀的土壤相比, 遭受严重侵蚀的土壤作物减产 15%~30%^[15]。除了产量降低外, 生态系统的生物总量和生物多样性也会持续降低^[16]。

4.4 侵蚀对土层厚度的影响

植物生长需要一定的土层厚度来容纳根系伸展。不同的土壤植被对土层厚度要求也不尽相同。但土层厚度在侵蚀作用下持续下降, 从 30 cm 减小到不足 1 cm, 植被根系空间急剧减小, 植被生长严重受阻, 最终一些植被种类将会消失。

4.5 侵蚀对生物总量和生物多样性的影响

自然生态系统中的生物多样性直接与系统中的生物和非生物的有机物质总量有关(Wright 1990)。随着土壤有机质的减少和土壤质量的下降, 土壤侵蚀最终导致生态系统的生物量的生产力下降, 从而对当前生态系统中的植物、动物、微生物及其它生命形态的多样性产生复杂的影响。

土壤侵蚀对生态系统损害与其造成的植被生产力降低的危害同样值得注意。草地植被种类一旦减少, 其生物多样性和

稳定性急剧降低。当草地植被种类从 25 种减少到 5 种或更少时,草地抗旱能力降低、生物总量也下降了 4 倍多。最终结果是抗旱能力越来越差,草地生产力恢复时间越来越长。

侵蚀作用也许是一些重要物种缺失的主要原因,而这些物种的缺失对整个生态系统的生物链的影响是灾难性的。这些重要物种在生态系统中起着维持生产力及整个生态系统完整性的重要作用。一些肉食动物和寄生动物能够限制危害植物的害虫发展;传粉生物及固氮生物都是生态系统中不可或缺或缺的。一旦上述生物缺失,有规律的生态系统活动将会干扰甚至毁灭。当农业生态系统传粉生物减少或消失,这种破坏作用就尤为显著。土壤生物可以提高土壤质量和土地生产力。通过土壤生物养分小循环达到满足植物不断生长对基础养分的需要。而蚯蚓等一些掘地生物可以通过其活动增加土壤渗透性,从而达到提高生产力的目的。例如,蚯蚓在 1 m² 范围的土壤内可以钻出 200 多条 3~5 mm 宽的通道,这样就极大地提高了土壤渗透速率。

其他一些土壤生物通过对土壤组分的重新混合,提高团粒的稳定性,防止土壤结皮形成,达到改善土壤质量、提高土壤生产力的目的。总之侵蚀控制不仅能保持土壤质量而且有利于植被生产,提高生态系统的生物多样性。

4.6 侵蚀对泥沙和风成土壤颗粒的影响

侵蚀除了对农业和森林生态系统直接作用之外,还对周围的环境产生深刻的影响。这些影响包括坝系崩塌、水体富氧化生长、港口和河道淤积、水库库容下降、野生动植物的栖息地丧失、河流生态系统的破坏及洪涝灾害等,同时为了解决上述问题必将耗资巨大。侵蚀的间接影响在土壤颗粒进入水系统中才会产生。据统计,全世界流失的土壤大约 2/3 沉积于河流湖泊中^[17]。这些沉积的泥沙中含有土壤颗粒、化肥、杀虫剂等物质,对水生生态系统产生伤害。水库和大坝的泥沙淤积导致库容下降,增加其运行费用,缩短了水库使用寿命。

土壤侵蚀可造成土壤中的大量生物碳在氧化作用之下形成二氧化碳排放到大气中,产生温室效应。这种影响主要

参考文献:

[1] Zhang X, Walling DE, Quine TA, Wen A. Use of reservoir deposits and caesium- 137 measurements to investigate the erosional response of a small drainage basin in the rolling loess plateau region of China[J]. Land Degrad Devel, 1997, 8: 1- 16.

[2] Myers N. Gaia: an atlas of planet management[R]. Garden City (NY): Anchor/ Doubleday. NSESPRPC 1981.

[3] Crosson P. Will erosion threaten agricultural productivity[J]. Environment, 1997, 39(8): 4- 9, 29- 31.

[4] Lal R. Soil erosion and land degradation: the global risks[A]. Soil degradation[M]. New York: Springer-Verlag, 1990, 129 - 72.

[5] Simons M. Winds toss Africa's soil, feeding lands far away[J]. New York Times; 1992, Oct, 29: 1- 16.

[6] Parrington J R, Zoller W H, Aras N K. Asian dust: seasonal transport to the Hawaiian Islands[J]. Science (Washington DC), 1983, 246: 195- 97.

[7] US Department of Agriculture (USDA) . Agricultural statistics[M]. Washington (DC): USDA, 1993.

[8] Maass J M, Garcia- Oliva F. La conservacion de suelos en zonas tropicales: el caso de Mexico[J]. Cienc Desarrollo, 1990, 15(90): 21- 36.

[9] Huang X. Agroforestry in China to control desertification[J]. American Society of Agronomy, 1996, Special Publication 43: 121- 43.

[10] World Resources Institute (WRI) . World resources[M]. New York: Oxford University Press, 1994.

[11] Murphee C E, McGregor K C. Runoff and sediment yield from a flatland watershed in soybeans[J]. Agric Ecosyst Environ, 1991, 64: 33- 41.

[12] Elwell H A. An assessment of soil erosion in Zimbabwe[J]. Zimb Sci News, 1985, 19: 27- 31.

[13] Young A. Agroforestry, environment and sustainability[J]. Outlook Agric, 1990, 19: 155- 60.

[14] Troeh FR, Thompson LM. Soils and soil fertility[M]. New York: Oxford University Press, 1993.

是由于侵蚀使埋藏于地下的有机碳暴露于地表而被氧化所致。而全球变暖又会造成降雨增多,侵蚀加强,从而产生恶性循环。

5 水土保持技术研究

侵蚀降低土壤水的有效性、土壤持水量、土壤养分含量、土壤有机质和土层深度,既而对作物产量产生负面影响。预计在未来 20 年里,由于农用地的退化将造成全球食品供应减少 15%~30%^[18]。为了避免出现上述问题,必须采取一系列的水保措施如地表覆被、免耕、防护林、草地条植、梯田、等高植树、作物轮作等。所有上述措施都是为了使土壤免受风力和降雨的作用。土壤侵蚀影响地表径流、土壤持水量、土壤养分含量、土壤有机质、土层深度及土壤生物区系等因素,而这些因素在自然和人为生态系统中都会对土地生产力产生影响。目前对于这些不同土壤因素的相互依存、相互作用的生态学关系还不清楚。侵蚀对自然和人为生态系统的生产力影响还需要进一步研究和了解。

6 结 论

土壤侵蚀是陆地生态系统中的一个严重的环境问题。侵蚀是一个作用缓慢的过程。1 mm 土壤很容易在一次风暴或降雨过程中丧失,这个过程在很短的时间内完成而不会引起人们的注意。在 1 hm² 农田上这样 1 mm 土壤流失就意味着 15 t 土壤的完全丧失,而要在自然环境下恢复同等数量的土壤需要 20 年。侵蚀对人工生态系统的破坏与自然生态系统是相同的。侵蚀可造成地表径流的迅速产生从而导致土壤持水量、土壤有机质的减少,而养分和有机质的减少导致土壤生物区系的减少最终会使动植物生产量下降。从世界范围来看,在人类人口的增长及对食物、纤维和其他资源的需求几何级增长的情况下,土壤侵蚀不会逐步减轻。未来的食物保障取决于土壤资源、水资源、能源及生物资源的保护,上述重要资源的保护在整个生态系统中是重中之重。如果忽视了这个问题,所有人类的生活质量将会大幅下降。

类^[4], 两种方法都是定量的分析方法。同时, 使用这两种方法进行生态经济分类也面临以下两个问题:

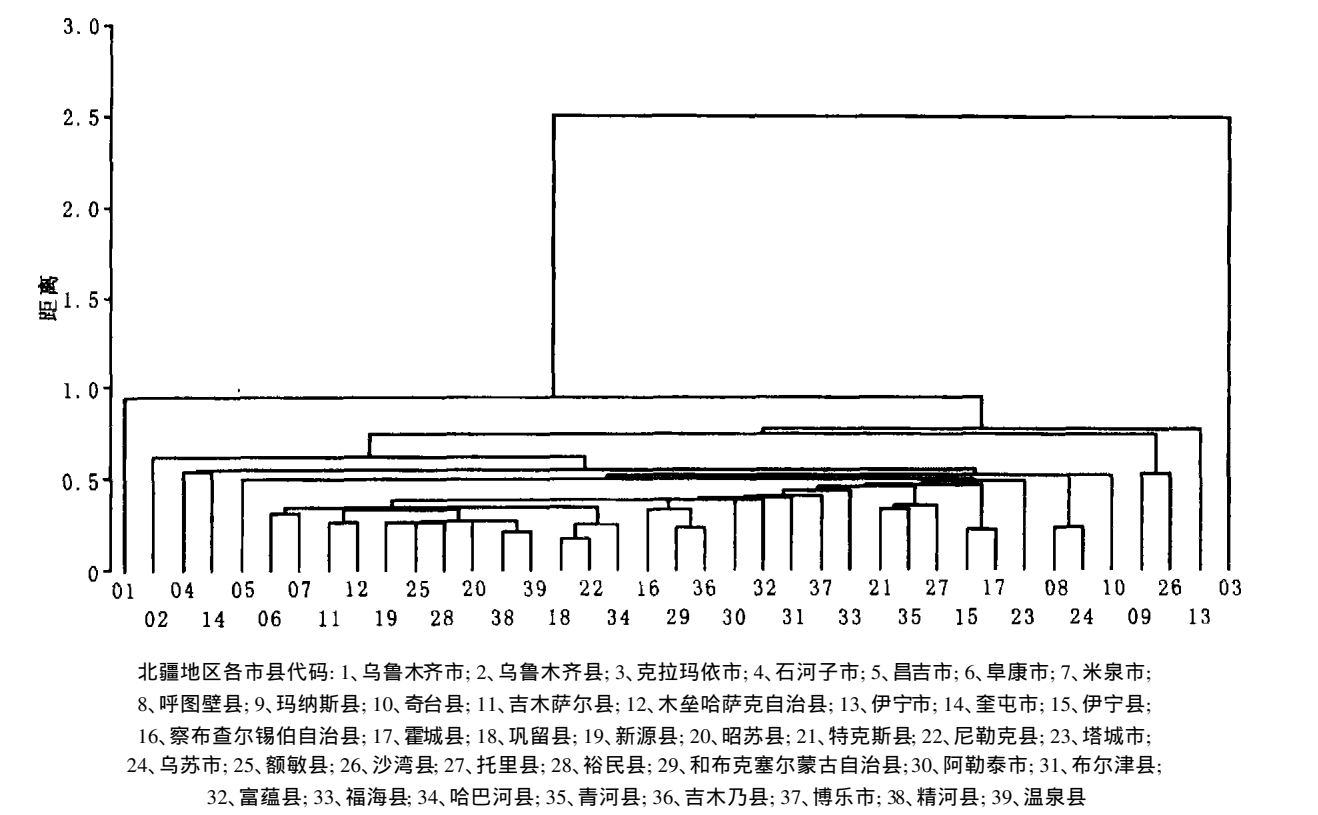


图 2 北疆地区生态经济聚类谱系图

(1) 聚类分析指标体系的建立。在建立指标体系的过程中, 指标选取是否合理, 直接关系到分类结果的合理性。由于生态经济系统是包括生态系统和经济系统等诸多子系统的复杂系统, 涉及的因素很多^[2]。由于研究区地域辽阔, 地区间也存在明显的差异性, 指标的选取有一定的难度。文章从生态环境状况、人口状况、经济发展状况等三个主要方面出发, 选取包括土地资源、森林资源、草地资源、水资源、污染物排放量、人口密度、人口自然增长率、人均 GDP、农业劳动力人均产值、人均基本建设投资、非农人口比重、万人拥有教师数、万人

参考文献:

拥有病床数等 20 个指标进行分类。但如何根据北疆地区生态环境及经济发展状况确定一个能客观的反映生态经济可持续发展的指标体系仍然是一个需要今后深入研究的问题。

(2) 文章用系统聚类法, 对样本数据进行 Q 型聚类, 在分类过程中对于一些离散性单元(如克拉玛依市)的处理, 还不够细致, 在进行分类时, 遵照数值聚类结果, 分类注重找出分类单元之间综合信息的相似性, 而不应该被离散性单元的归属问题所干扰, 这样有助于得到典型、客观而又符合实际的类型^[2]。

[1] 周华荣. 新疆生态环境现状综合评价研究[J]. 干旱区地理, 2001, 24(1), 23- 29.

[2] 王如霏. 生态经济学[M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 2000. 59- 98.

[3] 何晓群. 现代统计方法与应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1999. 215- 240.

[4] 新疆维吾尔自治区水利厅, 新疆水利学会. 新疆河流水文资源[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1999.

[5] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2003.

[6] 新疆维吾尔自治区地方志编纂委员会新疆年鉴[Z]. 乌鲁木齐: 新疆年鉴社, 2003.

[7] 中华人民共和国国家统计局中国统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2003.

(上接第 247 页)

[15] Langdale GW, West LT, Bruce RR, et al . Restoration of eroded soil with conservation tillage[J]. Soil Techn , 1992, 5: 81- 90.

[16] Heywood VH. Global biodiversity assessment. Hole FD. 1981. Effects of animals on soil. Geoderma[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 25: 75- 112.

[17] Pimentel D, Wilson C, McCullum C, et al. Economic and environmental benefits of biodiversity[J]. Bioscience , 1997b, 47: 747- 57.

[18] Buringh P. Availability of agricultural land for crop and livestock production[A]. In: Pimentel D, Hall CW, editors. Food and natural resources[M]. San Diego (CA): Academic, 1989. 70- 85.